

AREA DE PREDICCION

**SERVICIO DE TECNICAS DE ANALISIS Y  
PREDICCION**

**NOTA TECNICA N° 19**

**EDICION**

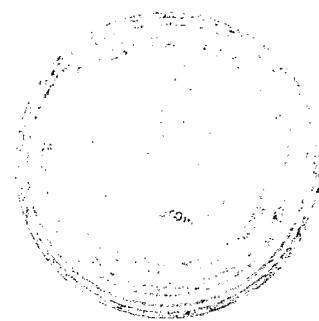
**10-Noviembre-94**

**REVISION**

**-0-**

**CARACTERIZACION DE LA  
ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA  
ZONA CENTRO DURANTE EL  
VERANO DE 1993**

**Francisco Martín León**



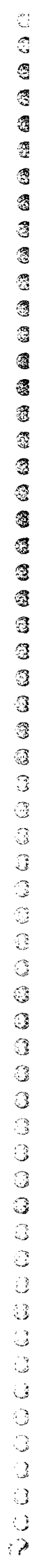
**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA  
Subdireccion General de Predicción y Vigilancia**



# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## ***PARTE I: CARACTERISTICAS GENERALES.***

	<b><u>Pag.</u></b>
<b>1. INTRODUCCION.</b>	1
<b>2. DATOS Y METODO DE TRABAJO.</b>	3
<b>3. CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA CENTRO.</b>	
3.a. Características geográficas.	4
3.b. Características climatológicas.	5
<b>4. RAYOS EN LA ZONA CENTRO: DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL.</b>	
4.a. Actividad eléctrica total diaria.	7
4.b. Ciclo diurno.	9
4.c. Distribución espacial general de los rayos.	11
<i>*Días con tormentas.</i>	13
<i>*Negativos.</i>	16
<i>*Positivos.</i>	21
<b>5. ANALISIS DE RAYOS PARA ALGUNAS CAPITALS DE PROVINCIAS.</b>	24
<b>6. CONCLUSIONES.</b>	26



## **PARTE II: CARACTERISTICAS ASOCIADAS A SITUACIONES ATMOSFERICAS.**

	<b><u>Pag.</u></b>
<b>1. INTRODUCCION.</b>	1
<b>2. DISTRIBUCION ESPACIAL DE RAYOS EN FUNCION DEL FLUJO EN 700 MB.</b>	2
2.a. Flujo del SW.	4
<i>*Número de días.</i>	4
<i>*Negativos.</i>	4
<i>*Positivos.</i>	8
2.b. Flujo del SE.	11
<i>*Número de días.</i>	11
<i>*Negativos.</i>	11
<i>*Positivos.</i>	13
<b>3. DISTRIBUCION ESPACIAL DE RAYOS EN FUNCION DEL TIPO DE FORZAMIENTO.</b>	19
3.a. Tormentas de Masa de Aire (MA).	19
<i>*Número de días.</i>	19
<i>*Negativos.</i>	22
<i>*Positivos.</i>	23
3. b. Tormentas con Forzamiento Sinóptico (FS).	25
<i>*Número de días</i>	25
<i>*Negativos.</i>	25
<i>*Positivos.</i>	25
<b>4. CONCLUSIONES.</b>	31

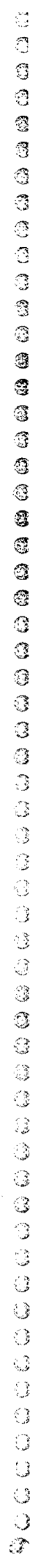


# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## ***PARTE III: RESUMEN CONCEPTUAL Y EJEMPLOS DE SITUACIONES ESPECIFICAS.***

	<b><u>Pag.</u></b>
<b>1. INTRODUCCION.</b>	<b>1</b>
<b>2. CICLO DIURNO.</b>	<b>2</b>
<b>3. DISTRIBUCION ESPACIAL CONCEPTUAL DE LAS TORMENTAS POR SITUACIONES ATMOSFERICAS.</b>	<b>4</b>
3.a. Flujo del SW en 700 mbs.	4
3.b. Flujo del SE en 700 mbs.	6
3.c. Tormentas de Masa de Aire (MA).	8
3. b. Tormentas con Forzamiento Sinóptico (FS).	10
<b>4. EJEMPLOS DE ALGUNAS ESTRUCTURAS TORMENTOSAS CON ORGANIZACIONES ESPECIALES.</b>	<b>13</b>
4.a. Tormenta movil en flujo del SW.	14
4.b. Tormenta cuasiestacionaria.	16
4.c. Tormentas en línea en Forzamiento Sinóptico.	17
4.d. Tormenta con anomalía de positivos.	18
4.e. Tormentas de Masas de Aire y de origen orográfico.	20
4.f. Tormentas en Flujo del SE.	22
<b>5. CONCLUSIONES FINALES.</b>	<b>23</b>

## **BIBLIOGRAFIA**





AREA DE PREDICCION

**SERVICIO DE TECNICAS DE ANALISIS Y  
PREDICCION**

**NOTA TECNICA N° 19**

**EDICION**

**10-Noviembre-94**

**REVISION**

**-0-**

# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## **PARTE I**

### **CARACTERISTICAS GENERALES**

**Francisco Martín León**

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA**  
Subdireccion General de Predicción y Vigilancia



# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## ***PARTE I: CARACTERISTICAS GENERALES.***

	<b><u>Pag.</u></b>
<b>1. INTRODUCCION.</b>	1
<b>2. DATOS Y METODO DE TRABAJO.</b>	3
<b>3. CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA CENTRO.</b>	
3.a. Características geográficas.	4
3.b. Características climatológicas.	5
<b>4. RAYOS EN LA ZONA CENTRO: DISTRIBUCIÓN TEMPORAL Y ESPACIAL.</b>	
4.a. Actividad eléctrica total diaria.	7
4.b. Ciclo diurno.	9
4.c. Distribución espacial general de los rayos.	11
<i>*Días con tormentas.</i>	13
<i>*Negativos.</i>	16
<i>*Positivos.</i>	21
<b>5. ANALISIS DE RAYOS PARA ALGUNAS CAPITALES DE PROVINCIAS.</b>	24
<b>6. CONCLUSIONES.</b>	26



# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## ***PARTE I: CARACTERISTICAS GENERALES.***

### **1. INTRODUCCION.**

Dentro de las labores de la caracterización de la convección en la Zona Centro, durante la Campaña de 1993, estaba la de analizar la actividad tormentosa que afectó a la región durante los meses estivales (Junio, Julio y Agosto), considerando la ventana espacial limitada por:

LAT. NORTE=42 LAT. SUR=38 LON. OESTE=7 LON. ESTE =0

Como podemos observar en la Fig 1a, esta ventana comprende las Comunidades de Castilla-La Mancha, Madrid, gran parte de Extremadura y la Zona Sur de Castilla-León. Areas muy reducidas de la Comunidades de Aragón, Andalucía, Murcia y Valencia también caían dentro de dicha ventana. Destacar que **esta región es diferente (un poco más extensa) que la considerada en la caracterización estival de la convección en la zona Centro durante los años 92 y 93; además en esta última se consideran todas las estructuras convectivas (Martín et al.,1994) que se desarrollaban dentro de un radio de 200 Km de la cobertura del radar de Madrid.** Aquí se va a estudiar un aspecto de la convección: el tormentoso. Esto va a influir en el hecho de que existan diferencias entre días con convección y con tormentas, ya que son distintos aspectos y se estudian zonas similares, pero no iguales en extensión. Por este motivo se ha considerado oportuno desarrollar esta nota como elemento independiente de la correspondiente a la caracterización de la convección en la Zona Centro.

Hay que hacer notar que es la primera vez que se hace un estudio de estas características en la Zona Centro, sin tener otro tipo de referencias como las que se pueden obtener por: radar, convergencias locales en el campo de viento de superficie, etc., que nos permitan confirmar y/o generalizar, de algún modo, los resultados que hemos obtenido. **Por lo tanto, las conclusiones estarán referidas al año 1993 exclusivamente.**

En la misma figura, Fig 1a, también se ha representado la situación de las antenas ("A") de la red de detección de rayos del INM (para mayor detalle consultar la bibliografía específica, ST-1992), así como las poblaciones a las que aludiremos en comentarios posteriores.

A Antenas DF

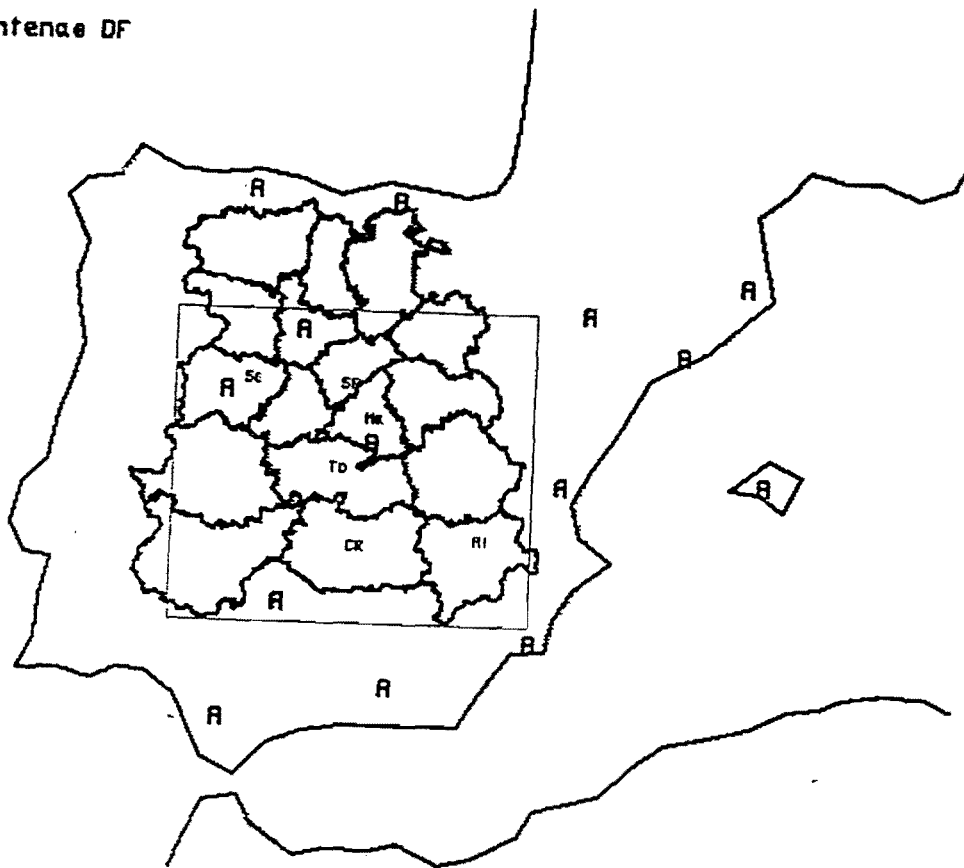


Fig. 1.a Ventana espacial de estudio y localización de las antenas, "A", de la red de detección de rayos.

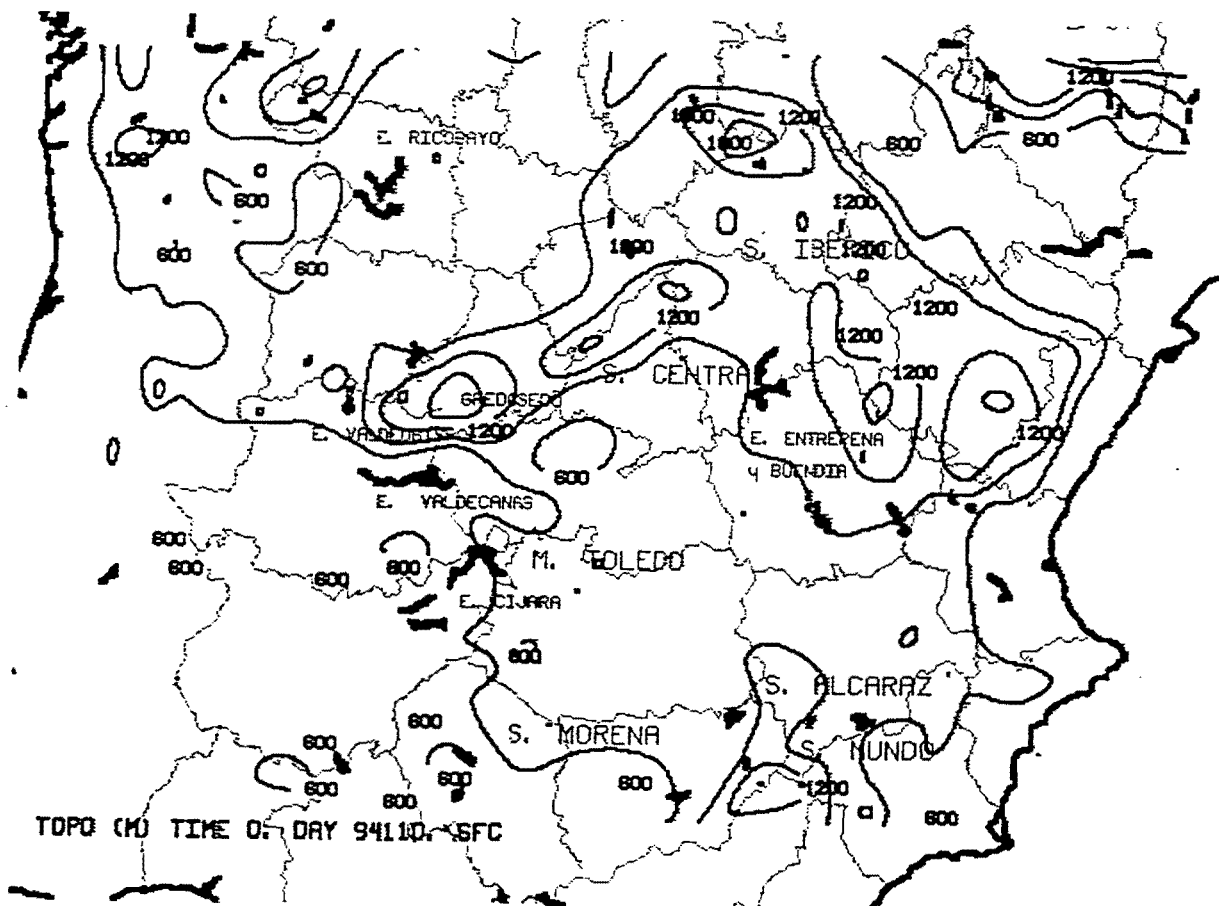


Fig. 1.b Sistemas montañosos de la Zona Centro (línea gruesa) y embalses principales.

En la actualidad la red esta operando con 14 antenas, que analizan y discriminan la señal del campo electromagnético generado por una descarga Nube-Tierra (rayo), del resto de las señales que recibe. Sólo, y en este caso, la información es enviada al concentrador y analizador de la red, que se encuentra situado en Madrid. Este genera un parte sobre datos de cada rayo en función de la información que le llega de las diferentes antenas que lo detectaron. De las 14 antenas, 13 están situadas estratégicamente en el territorio peninsular y una en Baleares, Fig 1a, para minimizar los errores de posicionamiento y eficiencia de detección. Los datos del concentrador nacional se pueden visualizar en un terminal específico, ubicado el Centro Nacional de Predicción, y se ingestan, casi en tiempo real, en el SAIDAS para su uso operativo en las labores de vigilancia y detección de fenómenos tormentosos.

Estos datos presentan unas características muy especiales respecto a otros de teledetección, no sólo en su contenido sino en su formato en sí, ya que son fáciles de archivar y tratar (a diferencias de los de radar o satélite). Además ofrecen la ventaja de que no están afectados por los fenómenos de apantallamiento en las zonas de montaña, propagación anómala, etc. y su interpretación es inmediata.

En esta primera parte (Parte I) se van a analizar estos datos por sí solos, sin atender a las condiciones sinópticas o mesoescalares que los pudieron generar, o relacionarlos con otras bases de datos que se generaron en dicha Campaña del 1993, proceso que se realizará en una segunda parte (Parte II).

## **2. DATOS Y METODO DE TRABAJO.**

Durante el período estival de 1993 se llevó a cabo una recopilación diaria de los datos de rayos vía SAIDAS. Para ello se importaron desde dicho sistema a un entorno PC. Los días en que falló la ingestión de datos al sistema SAIDAS se recuperaron directamente de la Base de Datos que mantiene el concentrador y analizador de la propia Red de Detección de Rayos. No se perdieron los datos de ningún día.

La información básica de trabajo (en negrilla) fue parte de la que suministraba el sistema, relativa a cada rayo:

- \*Polaridad: Rayo negativo o positivo.**
- \*Posición: Lat y Lon.**
- \*Fecha y Hora(hasta las milésimas de segundo)**
- \*Número de subdescargas de cada rayo.**
- \*Intensidad Normalizada.**
- \*Parámetros de error de posicionamiento: CHI2, semiejes de la elipse de error (A,B).**

En esta primera Campaña se analizaron las variables que se encuentran en negrilla ya que es la información con la que trabaja el predictor de forma rutinaria.

Para cada día se visualizaron y analizaron, subjetivamente, los rayos en la zona. Se eliminaron aquellos días en los que la actividad fue menor de 10 rayos y se prestó

especial atención a aquéllos en los que las tormentas perduraron más allá de la media noche para discriminar la hora inicial y final de la actividad eléctrica.

Sobre la calidad del dato hay que hacer notar que la ventana elegida abarca una zona con **una muy buena cobertura** de la red. Esto hace que la eficiencia de detección, y la exactitud en la localización sean excelentes. Así los errores de posicionamiento llegan a ser incluso del orden de 1 Km, en ciertas áreas.

### **3. CARACTERISTICAS GEOGRAFICAS Y CLIMATOLOGICAS DE LA ZONA CENTRO.**

De todos es conocido que la convección es un fenómeno mesoescalar fuertemente ligado a las características topográficas de una zona, tanto si está o no forzada sinópticamente. Por ello, antes de analizar los datos, parece recomendable describir brevemente las características de la zona, tanto desde el punto de vista geográfico como climatológico.

#### **3.a Características geográficas.**

El área de estudio, Fig.1b, abarca dos mesetas elevadas y una región, la extremeña, de menor altitud media. La primera zona elevada corresponde a las Comunidades de Castilla-La Mancha y Madrid que se encuentran situadas al Sur, con altitudes medias de unos 600 m sobre el nivel del mar. La segunda, y situada al norte de la primera, corresponde a la parte meridional de la Comunidad de Castilla y León con una altitud media de unos 800 m, aunque algunas capitales de provincias se encuentran sobre los 1000 m. Estas dos zonas se encuentran separadas por un conjunto de Sierras que conforman el Sistema Central, que en ningún caso superan los 2.600 m., y que parten desde el Centro de Portugal, orientándose de Oeste a Este hasta alcanzar, en la provincia de Avila sus mayores alturas (2.592 m, Pico Almanzor). Desde aquí se reorienta en dirección WSW-NNE para unirse a otro conjunto de Sierras, de diferente origen, que conforman el Sistema Ibérico y que se alinean de NW a SE por las provincias de Soria, Guadalajara y Cuenca. Ambos sistemas se unen en el sector más oriental de la región, alcanzando alturas menores que el Sistema Central.

Además dentro de la Meseta Sur se pueden distinguir dos sistemas montañosos de menor entidad que los primeros:

\*Los Montes de Toledo, que separan las provincias de Ciudad Real y Toledo, formado por un conjunto de montañas que no superan los 1500 m y orientadas de Este a Oeste, penetrando por el centro de Extremadura, donde van perdiendo altitud.

\*Sierra Morena, formada por un conjunto de alineaciones de poca elevación, situadas al sur de las provincias de Badajoz, Ciudad Real y Albacete y que separan la Meseta Sur y Extremadura del Valle del Guadalquivir. El sistema Bético también se asoma a la región de estudio, al SW de la provincia de



Albacete, donde algunas sierras llegan a poseer cierta altura (1500-1750m): las Sierras del Alcaraz y Calar del Mundo.

Extremadura forma parte de un conjunto de tierras que se encuentran entre los 200 y 300 m de altitud media, limitada en su vertiente norte por algunas Sierras del S. Central y en la Sur por un conjunto de colinas que pertenecen a Sierra Morena, permitiendo de esta manera que su sector más occidental quede abierto a la influencia de los vientos de origen atlántico.

### **3.b. Características climatológicas.**

Atendiendo sólo al período estival (Font Tullot, 1983), la Zona Centro se caracteriza por el fuerte calentamiento diurno que experimentan todas las áreas elevadas. El resultado es la formación de una baja de origen térmico durante gran parte del verano, agudizada por los contrastes de temperatura que generan las dos masas de agua, relativamente más frías, que rodean a la península. Esta estructura, de capas bajas, puede debilitarse o desaparecer momentáneamente por el paso o presencia de perturbaciones sinópticas.

La Meseta Norte, al ser una extensa, elevada y uniforme llanura, posee un clima uniforme con veranos especiales (Font T, 1983): cálido durante el día y fresco por la noche. Esta uniformidad se ve interrumpida en las cercanías de las zonas de montaña: Sistema Central y Sistema Ibérico.

Por contra la Meseta Sur presenta mayor complejidad en su clima veraniego por su menor altitud y la especial orografía que existe en su interior (M. de Toledo) y bordes (S. Morena, S. Central, S. Ibérico y algunas sierras del Bético). Los veranos son más calurosos, y durante la noche las temperaturas bajan menos que en la Meseta superior, hecho que se debe a su menor altitud.

La convección es el fenómeno más característico del período estival, tanto la generada con forzamiento sinóptico como la de masa de aire. De los resultados de la Campaña-92, las primeras se dieron, preferentemente, en Junio y las segundas en Julio y Agosto (Font, 1983, Martín et al. 1994), aunque este hecho no se puede generalizar.

Los flujos que, en niveles medios y altos, suelen favorecerla son los de componente SW o aquéllos que se generan en situaciones poco definidas, con una marcada inestabilidad ligada a los efectos de calentamiento diurno.

Por contra en niveles bajos se suele generar una depresión de origen térmico, en términos generales, como consecuencia de la fuerte insolación estival que reciben las zonas mesetarias, convirtiéndose ellas mismas en una fuente de calor para el aire que se encuentra próximo a superficie. Otros factores adicionales lo constituyen la aridez y ausencia de grandes masas forestales en las zonas llanas. Esta baja parece poseer un ciclo diurno bien definido, reforzándose durante el día y debilitándose en las primeras horas del ocaso. A veces parece constituirse como un ramal o extensión de la baja térmica del norte de Africa y otras llega a ser un elemento independiente.

A grandes rasgos, la península se comporta como una zona elevada, fuente de calor durante el día, y rodeada por dos masas de agua que actúan, para esta época del año, como fuentes frías por lo que se suelen generar estructuras de altas presiones a su alrededor, agudizando el gradiente isobárico. En primera instancia se generaría una gran zona de convergencia mesoescalar en niveles bajos, en el interior peninsular, fuertemente modulada por la complejidad orográfica de los sistemas montañosos del interior. Las zonas de convergencias locales son las que, a fin de cuentas, pueden focalizar el comienzo y desarrollo de fenómenos tormentosos, sobre todo las generadas por el calentamiento diferencial: las circulaciones entre montaña-zonas llanas, valle-montaña, etc. Este hecho parece ser más acusado en la Meseta Norte donde las temperaturas nocturnas son más frescas que en la meseta sur, pudiéndose organizar, a la vez, fronteras térmicas más acusadas, entre la llanura y las zonas de montaña, durante el día.

La presencia de ríos, masas forestales y algunos embalses pueden ser otros factores significativos en el desarrollo y focalización de la convección (fuente local de humedad).

Desgraciadamente la red de estaciones automáticas no es lo suficientemente densa y no se han hecho, hasta ahora, estudios locales de vientos para analizar la evolución de las posibles zonas de convergencia a nivel regional así como de las posibles fronteras que se pueden derivar de ellas.

En resumen, las características topográficas de estas tres regiones, unido al fuerte calentamiento diurno que experimentan durante dichos meses, van a condicionar, fuertemente, la actividad tormentosa.

#### 4. RAYOS EN LA ZONA CENTRO: SU DISTRIBUCION TEMPORAL Y ESPACIAL.

De los 92 días de la Campaña se registraron 40 con actividad eléctrica. Se eliminaron aquellos días con menos de 10 rayos (sólo dos). Se anotaron las horas de los primeros rayos negativos y positivos, así como de los últimos, que podían registrarse al día siguiente. Toda la ventana de estudio se dividió en cuadrículas de  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  para hacer un análisis espacial de ciertas magnitudes, junto con una serie de parámetros que se irán describiendo con más detalle en apartados posteriores.

De los 38 días con tormentas significativas, destacan dos días donde sólo se detectaron descargas positivas (aunque no en gran cantidad) y un día con sólo rayos negativos. El resto siempre tuvieron descargas negativas y positivas, destacando la gran cantidad en el número de las primeras frente a las segundas.

En todas las gráficas que veamos, y mientras no se diga lo contrario, los datos relativos a rayos negativos se representaran con línea/barra gruesa y continua; por contra, los positivos lo serán con línea/barra fina continua o punteada.

##### 4.a Actividad eléctrica total diaria.

El número total de rayos detectados, en los 38 días y dentro de la región de estudio, resultó ser de 67.972 negativos y 2.704 positivos. **Sólo el 18 de Junio se registraron 14.798 negativos y 461 positivos.** Este hecho va a condicionar fuertemente algunos resultados que se obtienen al analizar la distribución espacial de los rayos negativos, como indicaremos oportunamente.

La Fig. 2 nos muestra la evolución temporal diaria del número de rayos negativos (línea gruesa, escala del eje Y a la izquierda) y positivos (línea fina, escala del eje Y a la derecha), durante los tres meses de la Campaña. Destacan tres hechos llamativos:

**\*el gran porcentaje de descargas negativas frente a las positivas**, hecho que, para la mayoría de las tormentas de primavera-verano ya ha sido recogido en la bibliografía (R. López, 1986).

**\*la mayor actividad eléctrica durante Junio frente a Julio y Agosto.** Julio resultó ser un mes con escasa actividad tormentosa durante 1993.

**\*la gran variabilidad diaria de la actividad eléctrica.**

Otros elementos que suelen caracterizar el nivel de la actividad eléctrica diaria son: el número máximo total de rayos detectados en un intervalo de 5 y 60 minutos (R. López, 1986). En la Fig. 3, se recogen los resultados para los diferentes días. Podemos observar como existe una buena correlación entre éstos y el número de rayos diarios. Destaca, de nuevo, el día 18 de Junio con más de 200 rayos en 5 minutos y más de 2000 en tan solo una hora.

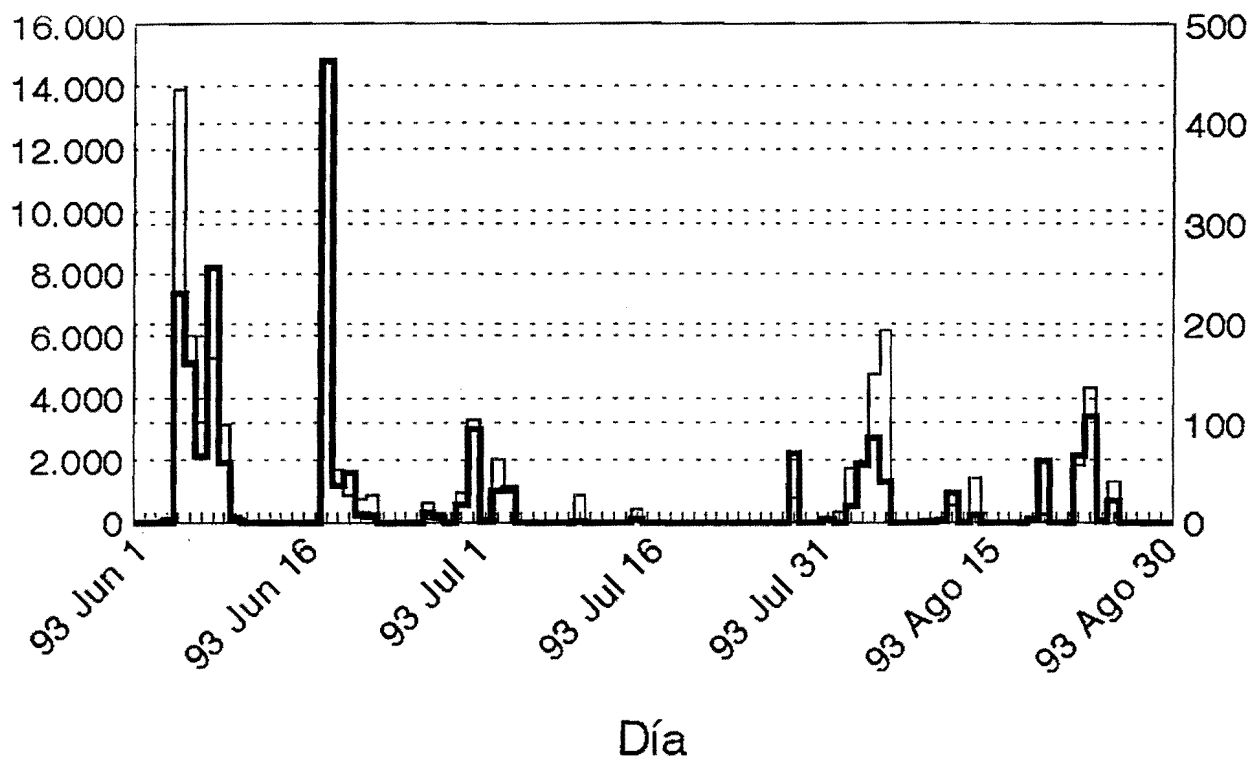


Fig. 2 Evolución diaria del número de rayos negativos y positivos. Negativos en línea gruesa y positivos en línea fina.

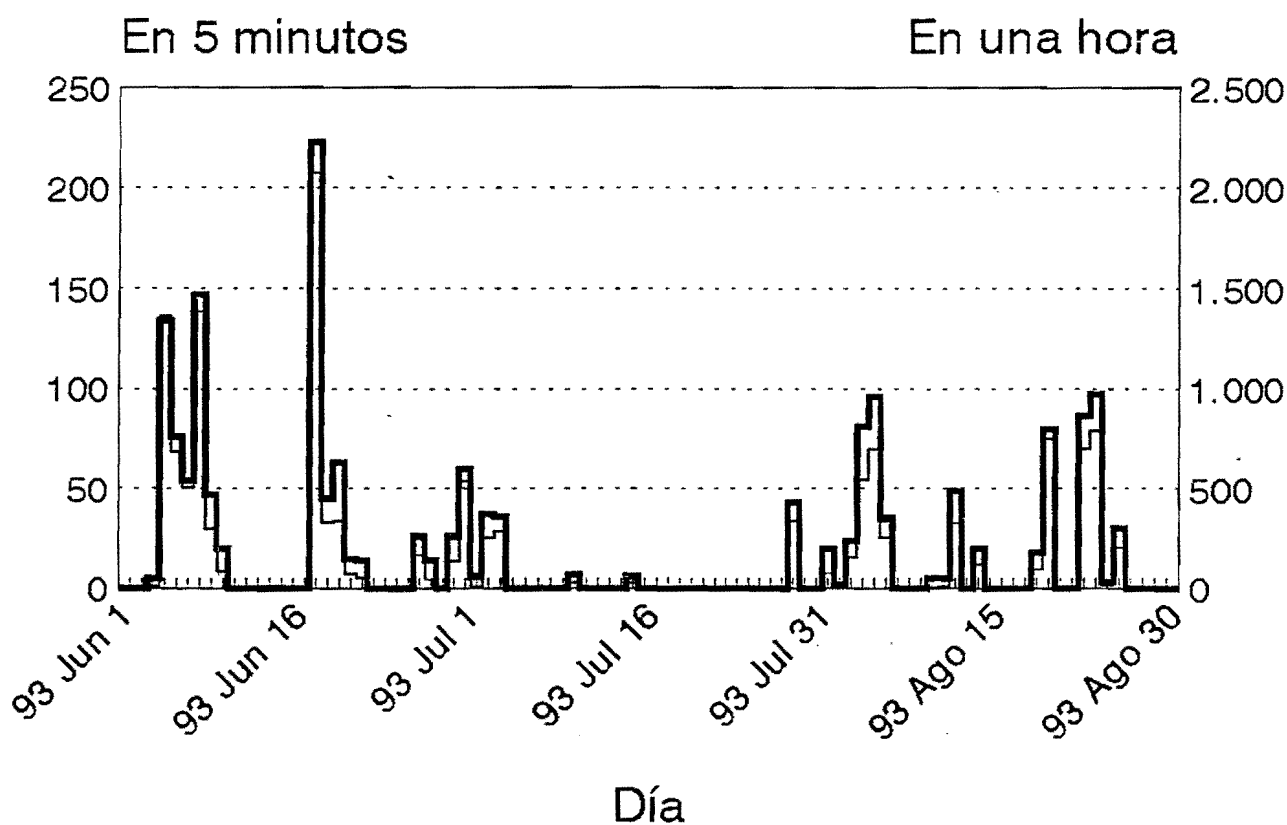


Fig. 3. Distribución diaria del número máximo de rayos detectados en 5 minutos (línea gruesa) y una hora (línea fina).

Aunque en la actualidad no se ha realizado un estudio equivalente a este para todo el año se puede apuntar, de la experiencia subjetiva, de tan solo una temporada, que la mayor actividad eléctrica corresponde a los meses estivales, a Septiembre y en menor medida a Mayo y Octubre. En el período invernal el número de rayos se ve tremendamente reducido en la zona Centro.

#### 4.b Cielo diurno.

El mismo proceso se realizó agrupando los rayos en intervalos de 3 horas (00/03,...21/24) de forma que se pudo analizar el papel de la componente diurna en la generación de las tormentas. Podemos deducir (las figuras no se muestran aquí) que el calentamiento diurno juega un papel importante en la generación de rayos, de forma que es entre las 09 y 12 z, para Junio y entre las 12 y 15 z, para Julio y Agosto, cuando se produce un salto cuantitativo en la generación de rayos. En el primer mes las situaciones sinópticas de altura, acopladas con el calentamiento diurno, pueden favorecer que las tormentas se generalicen antes que en Julio y Agosto, donde predominan las situaciones menos marcadas en altura. Por contra el número de positivos experimenta su mayor incremento relativo en las 6 últimas horas del día. Algunas de estas conclusiones se verán reflejadas gráficamente en los siguientes puntos, de forma más clara.

Muy ilustrativa es la figura que nos muestra los porcentajes del número de rayos caídos en las diferentes horas del día, Fig. 4, con respecto al total. Resulta notorio observar el efecto de **la componente diurna y la separación de los máximos de las descargas negativas y positivas.**

Es sobre las 09 z, cuando parece que comienza un leve aumento en el número de rayos negativos, para crecer de forma significativa en las siguientes horas, alcanzándose un máximo próximo a las 16 z, reduciéndose su número suavemente hasta las 18 z a partir de la cual el porcentaje decae vertiginosamente. Como era de esperar, y después del ocaso del sol, el número de rayos desciende (mucho más acusado en Julio y Agosto) para alcanzar los valores mínimos entre las 03 y 09 z. La actividad eléctrica puede perdurar o generarse después de la media noche aunque sus porcentajes no superan el 1% en cada hora. La evolución porcentual de los positivos es análoga, pudiéndose repetir las mismas ideas que los negativos pero desplazadas dos horas: comienza a aumentar su número a las 11 z, su máximo se alcanza a la 18 z pero su caída no es tan vertiginosa como en los negativos. Su porcentaje es mayor, a primeras horas de la media noche, que el de los negativos.

También se han analizado las horas de máxima actividad eléctrica total, Fig. 5, agrupando los rayos en 5 minutos y una hora. Podemos observar de nuevo la componente diurna, de forma que es a las 15 z, cuando se alcanza el máximo, para 5 minutos, y entre las 16 y 18 z cuando lo hace para los de una hora. Teniendo en cuenta las características de la muestra, resulta más lógico trabajar con los resultados a 60 minutos, y pensar que las máximas proporciones en la generación de los rayos (en especial los negativos) se produce entre las 14 y 18 z.

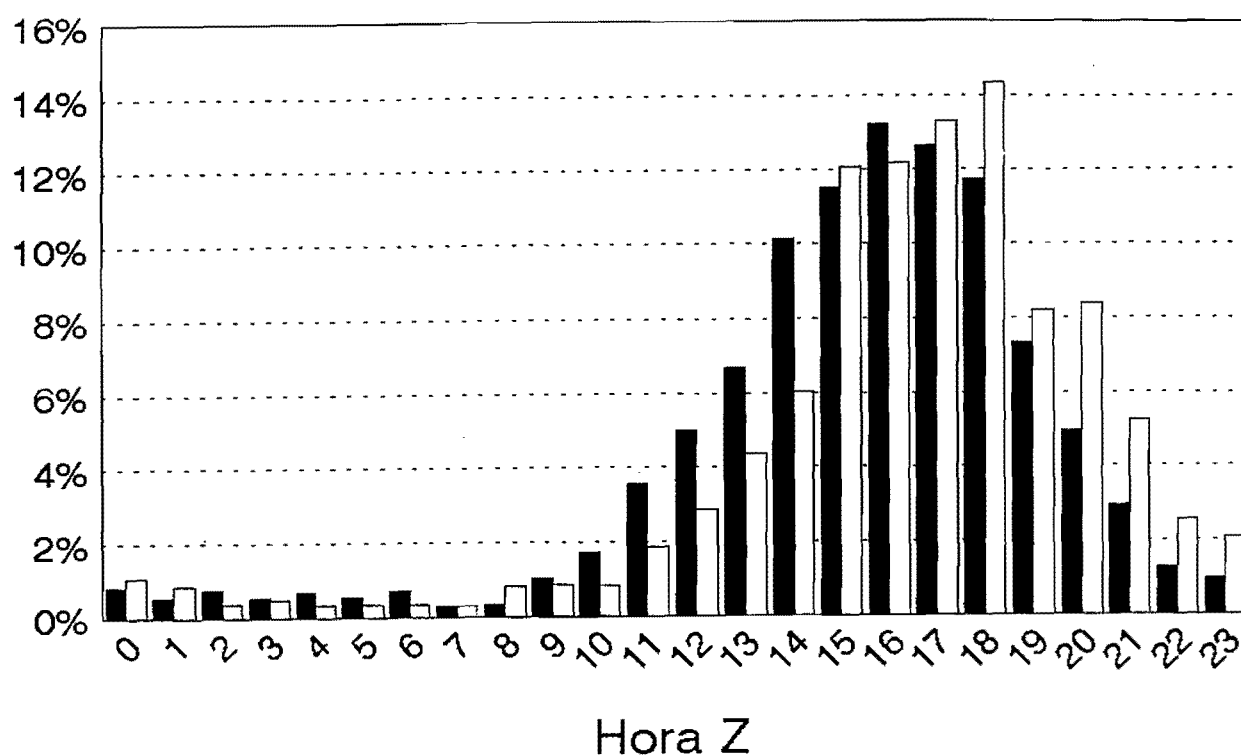


Fig. 4 Porcentaje horario de rayos respecto al total diario:  
Negativos (barras negras) y positivos (barras blancas)

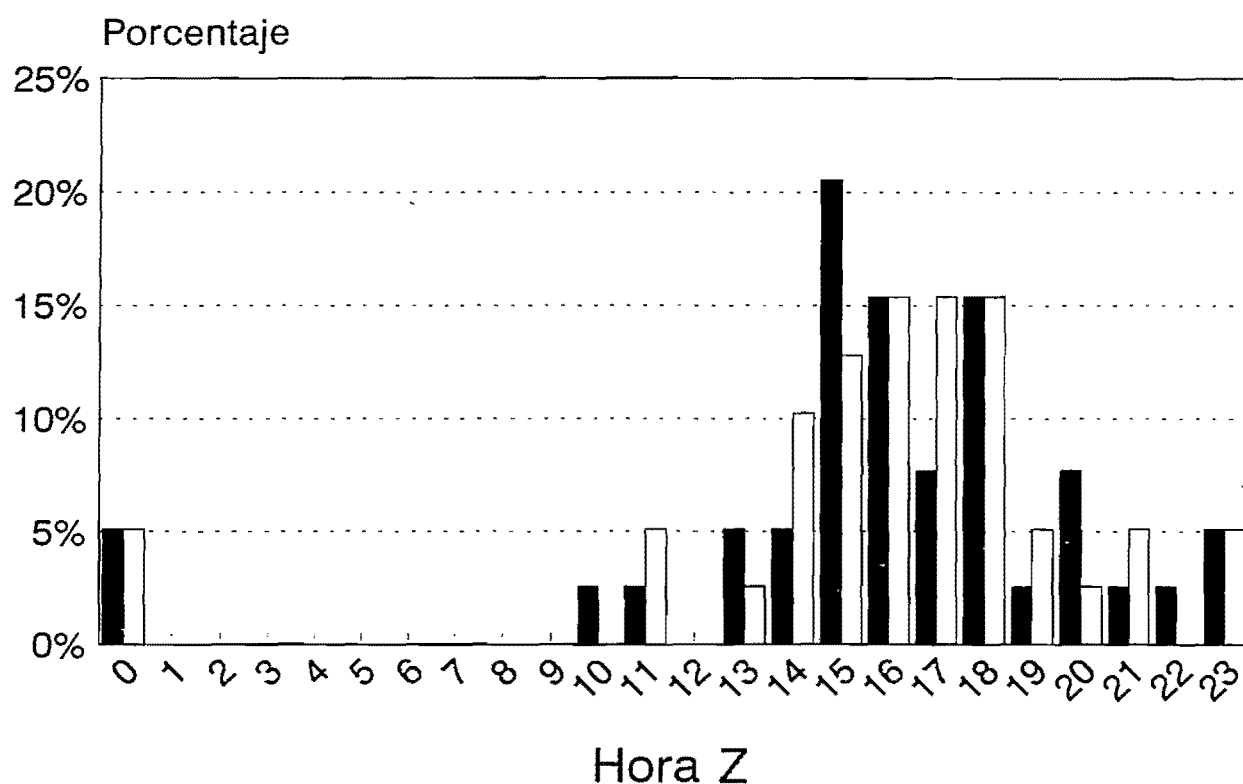


Fig. 5 Porcentaje de días, para cada hora, en que se ha detectado  
la máxima actividad.  
En 5 min. (barras negras) y en 1 hora (barras en blanco)

Para cada día se analizó, subjetivamente, la distribución temporal de los rayos caídos cada 10 y 30 minutos, anotándose la hora en la que se producía el primer rayo negativo y positivo, siempre y cuando tuviera una continuidad temporal lógica (no se tuvieron en cuenta rayos aislados ni en el espacio ni en el tiempo). Se hizo lo mismo para la última hora, analizando, si era preciso, el día siguiente para comprobar si las tormentas perduraban más allá de la media noche. De este análisis resultaron las figuras Fig.6 a y b.

Vemos que predominaron los días en los que los primeros rayos negativos, Fig. 6a, se generaron entre las 10 y 12 z siendo muy bajo el porcentaje de primeros rayos más allá de las 15 z. Indudablemente volvemos a encontrarnos con el papel que juega el calentamiento diurno, ya que casi todos se encuentran alrededor del medio día, levemente desplazado hacia las horas anteriores a las 12 z; pero esta figura también nos dice que existe otra componente asociada a los días donde pudo existir un forzamiento sinóptico desencadenante de la convección o restos de estructuras convectivas que pudieron generar otros núcleos convectivos fuera de las horas asociadas al mediodía.

Por contra los primeros positivos, Fig. 6a, tienen sus máximas contribuciones desplazadas en una o dos horas respecto a los negativos, centrándose más en torno a las 12 z. Otro hecho llamativo es el mismo desplazamiento existente respecto a los máximos relativos de negativos que se encuentran repartidos a lo largo del día. Este hecho lo confirma la experiencia ya que son los rayos negativos los primeros en aparecer, generándose posteriormente los positivos. En la fase de disipación ocurre otro hecho: disminuyen los rayos negativos y, en proporción muy reducida, aumentan los positivos.

En la Fig. 6b tenemos los porcentajes diarios, agrupados por horas, en los que se detectaron los últimos rayos. Las horas superiores a 23 z se refieren a las asociadas al siguiente día, ya que la actividad tormentosa pudo persistir de un día para otro.

Los últimos rayos negativos se sitúan en torno a las 21 z en el 17% de los días al igual que los positivos, aunque existe un porcentaje de días en los que la actividad tormentosa continuó más allá de la media noche debido a que la propia convección pudo mantenerse a sí misma, o a que existieron factores sinópticos o mesoescalares capaces de generar nuevos focos tormentosos (o ambos a la vez).

#### **4.c Distribución espacial general de los rayos.**

Después del estudio de las gráficas que representan ciertas distribuciones temporales de los datos de rayos, con el efecto tan marcado del ciclo diurno, se analizó su distribución espacial. Para ello se dividió la zona del estudio en cajas de  $0.2^{\circ} \times 0.2^{\circ}$  y se calcularon un conjunto de parámetros relativos a cada una de ellas: número de días con tormentas, distribución espacial de negativos y positivos, etc. Pasemos a analizar los resultados obtenidos en esta primera parte.

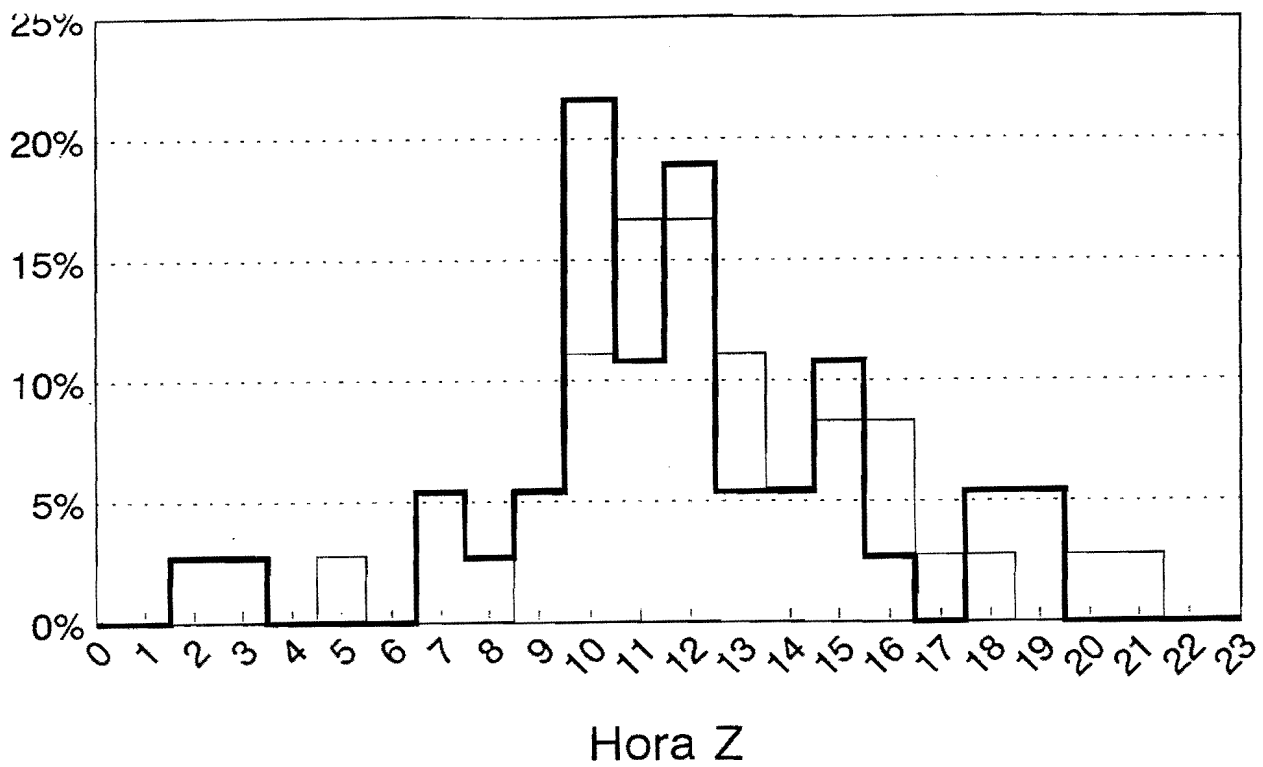


Fig. 6a Porcentaje de días, para cada hora, en los que se detectaron los primeros rayos: negativos (línea gruesa) y positivos (línea fina).

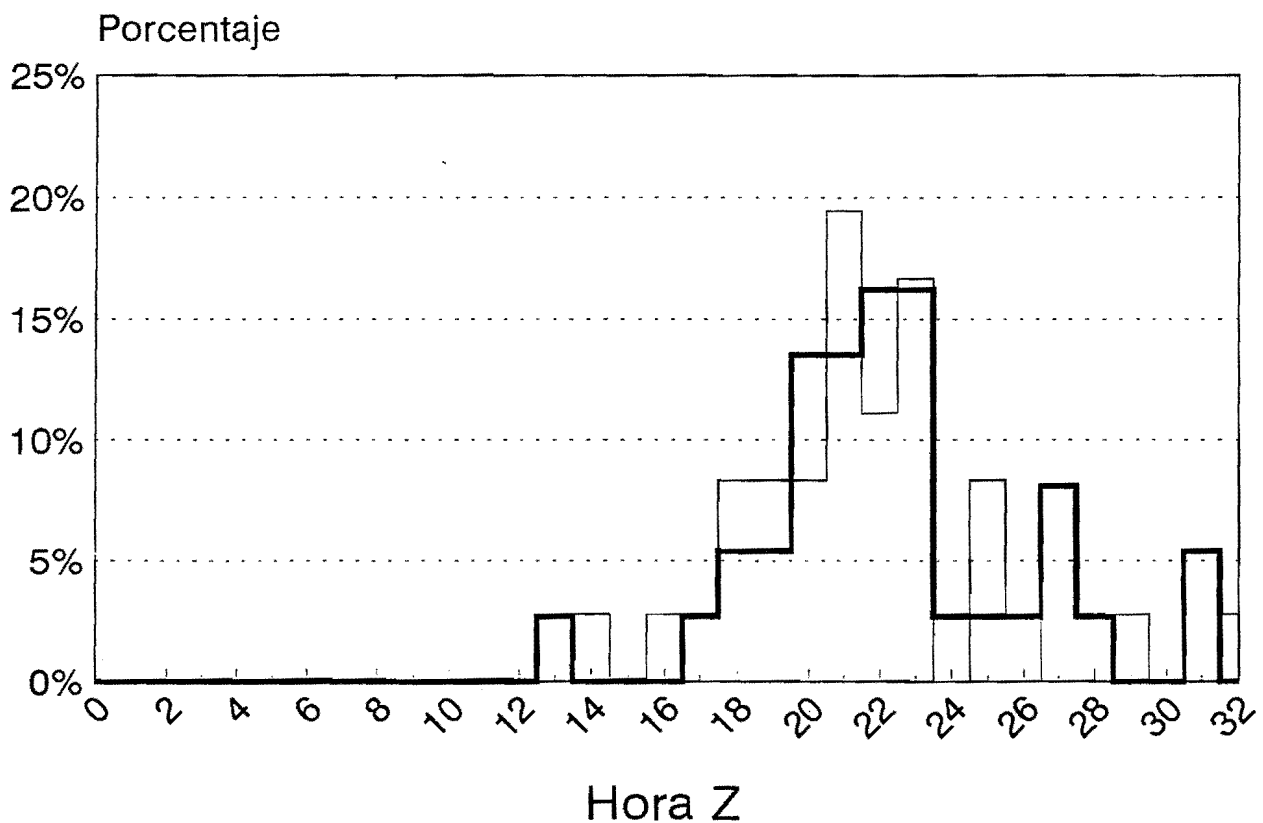


Fig. 6b Porcentaje de días, para cada hora, en los que se detectaron los últimos rayos: negativos (línea gruesa) y positivos (línea fina).



### ***-Número de días con tormentas.***

En la Fig. 7 observamos el número de días en los que se detectó algún rayo en cada una de estas cuadrículas, para el total de los 38 días. Aunque pasaremos a realizar un análisis más detallado, podemos adelantar que:

\*La Meseta Norte se vio afectada por **un mayor número de días** con rayos, mostrando una **mayor uniformidad** que el resto de las regiones. Los máximos se registraron en las tierras llanas (18 días, M, en la figura) y existe un mínimo relativo sobre las zonas más elevadas ( Sierra de Gredos en el S. Central).

\*La Zona Sur presenta zonas y características bien diferenciadas, con una menor uniformidad en su distribución:

+El numero de días aumentan de Oeste a Este y de Sur a Norte.

+Existen máximos relativos en torno a las Sierras que la rodean, menos en las estribaciones de Sierra Morena.

La región extremeña se vio afectada por un número reducido de días con tormentas (el mínimo es de uno, en su zona más occidental). Estos valores aumentan un poco (8-9 días) en las zonas donde el terreno gana cierta altura, en el norte de Cáceres con el S. Central y lindando con el embalse de Gabriel y Galán. Existen **dos máximos relativos, con 10 días, que se encuentran ubicados en las cercanías de grandes embalses**: el primero (a) en el extremo NE de la provincia de Badajoz, justamente situado en las proximidades de la zona de embalses de García de Sola, Cijara, Orellana y Zújar, todos ellos pertenecientes al Guadiana. El segundo (b) se encuentra al Este de Cáceres y limítrofe con la provincia de Toledo, entre el embalse de Valdecañas y la Sierra de Altamira. Ni las colinas de Sierra Morena ni los accidentes topográficos que generan los ríos Tajo y Guadiana dan unas señales destacables en esta región.

Por contra cuando nos "elevamos" a la Meseta Sur el número de días aumenta, destacando la variabilidad creciente de Sur a Norte y las singularidades, que introduce los sistemas montañosos: S. Central, S. Ibérico y sierras del Bético, en Albacete. El máximo se encuentra en el S. Ibérico y localizado sobre los embalses de Entrepeñas (Guadalajara) y Buendía (Cuenca), con 15 días (c). Le sigue otro núcleo con 14 días en la cara Sur de la Sierra de Guadarrama de la provincia de Madrid.

Si se analizan los máximos relativos y se unen, se pueden adivinar unas especies de **ejes preferentes** (no deben de ser confundidos con zonas de trayectorias o camino de tormentas) en esta región y asociadas a accidentes topográficos, que se pueden dividir en:

-Eje de Tajo (T). Arranca desde el máximo que se detecta al Este de la provincia de Cáceres (embalse de Valdecañas) para penetrar por la provincia de Toledo, siguiendo las riberas del Tajo. Posteriormente penetra por el Sur de la Comunidad de Madrid para buscar las cuencas altas de sus afluentes en la provincia de Guadalajara.

Cabría pensar en la posible existencia de la ruta o eje del Guadiana, pero al llevar menos caudal y al pasar por zonas menos accidentadas, esta aparece

difuminada pero llega a dar dos máximos asociados a la zona de las Lagunas de Ruidera (NE de C. Real ) y el otro máximo de los embalses de Badajoz.

-El eje del Sistema Central, en su vertiente Sur. Este eje esta muy difuminado si se estudia de forma conjunta con el de su vertiente Norte, pero existe como tal al aparecer como singularidad dentro de la zona Sur .Existe una serie de máximos relativos al Norte de Cáceres, orientados según el Sistema Central, para pasar a un mínimo por la zona de Gredos y recuperarse de nuevo en la provincia de Madrid alcanzando los 14 días con tormentas en la cara Sur de Guadarrama. Este eje se funde con el asociado al Tajo en la provincia de Guadalajara.

-Eje asociado al Sistema Ibérico. Esta orientado según el propio Sistema Ibérico y formado por dos zonas bien diferenciadas:

-La zona Norte, Centro y Oeste de la provincia de Soria y Oeste de Zaragoza. Este eje (SI1) es muy uniforme en cuanto al número de días de tormentas con valores relativamente elevados, entre 10 y 15 días.

-En las zonas Centro y Sur del S. Ibérico (SI2), el número de días decaen respecto a la anterior pero se ven interrumpidos por máximos relativos muy acusados y alineados según el sistema: en la Serranía de Cuenca tenemos los máximos de los embalses de Entrepeñas, en la Alcarria, y Buendía (15), la porción Sur de Cuenca y Norte de Albacete, con su centro en el pueblo de la Roda (Albacete) con 10 días y las comarcas albaceteñas del Sur con las estribaciones de las Sierras de Alcaraz y Calar del Mundo por donde transcurren los ríos Segura y Mundo, ricos en pequeños embalses.

Los Montes de Toledo no constituyeron una zona destacable en cuanto a un elevado número de días con tormentas, respecto a su entorno, como para considerarla como un eje significativo.

Al pasar a las zonas más altas de la Meseta Norte nos encontramos con una distribución más uniforme y un aumento del número de días con tormentas, destacando el máximo de 18 días, que se encuentran **en las zonas llanas de confluencia de las provincias de Segovia, Burgos y Valladolid (M)**, lejos de las zonas de montaña. Podemos distinguir dos ejes fundamentales:

-Eje del S. Central (SC) en su vertiente Norte. Un reguero de máximos relativos (16 días, aunque por cuestión de contorno sólo se representa la de 14) se encuentran bordeando la vertiente norte del S. Central, partiendo desde el NE de la provincia de Avila pasando por la de Segovia hasta la de Soria donde se unen con los que se generan por la presencia del Sistema Ibérico. Este eje está muy bien definido. Obsérvese que no se encuentra sobre la línea de máximas alturas, sino desplazado más al norte.

-El eje asociado al Duero (D). Las propias riberas del Duero ofrecen otro reguero de máximos, pero resalta menos al encontrarse en zonas donde existe cierta uniformidad en la distribución de los días de tormentas.

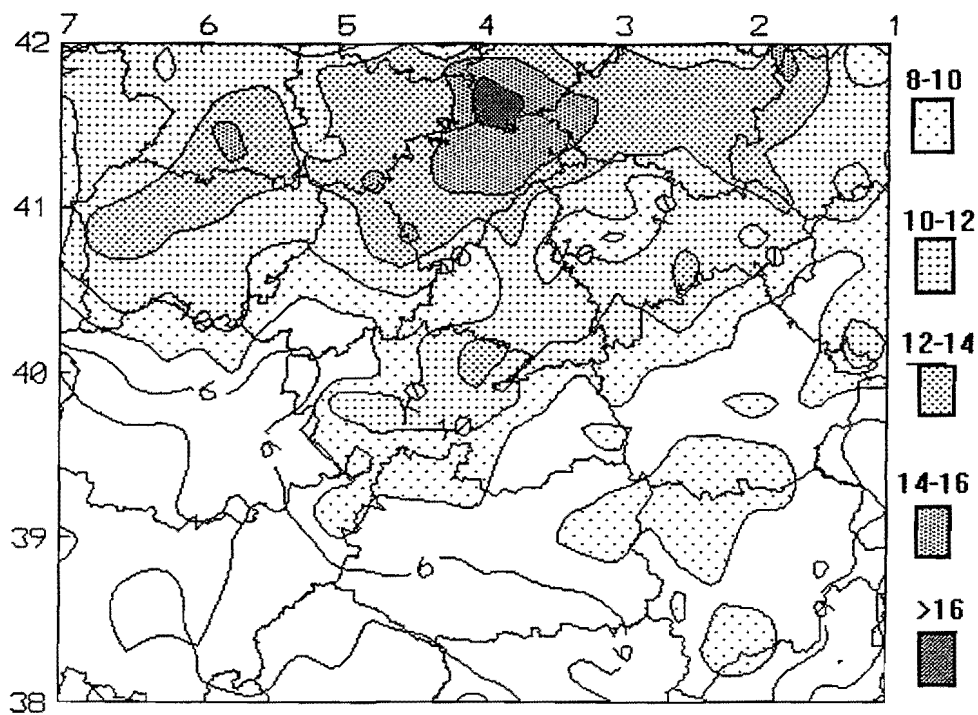


Fig. 7a Número de días con tormentas.

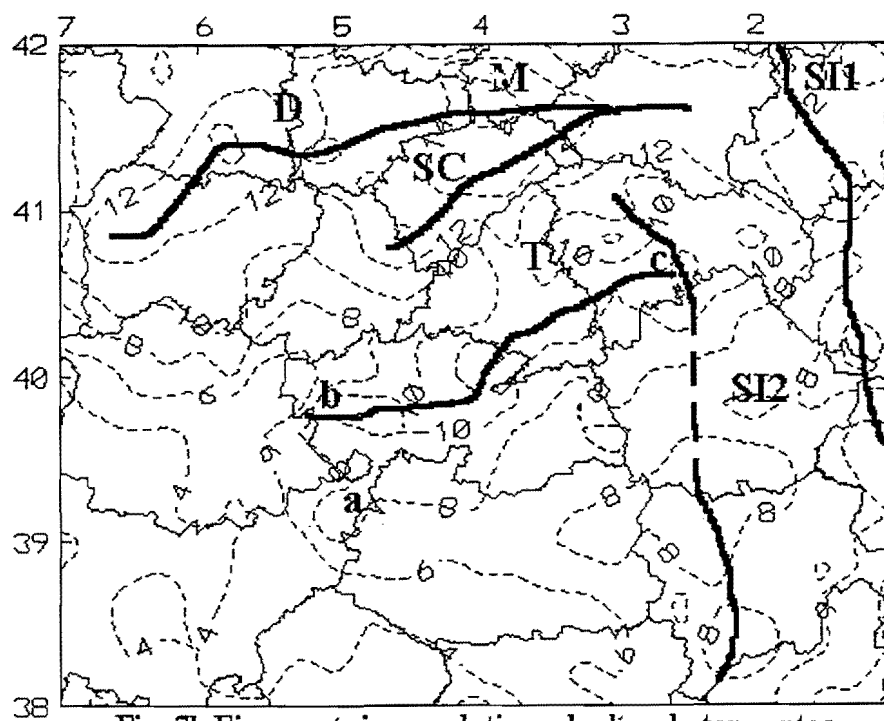


Fig. 7b Ejes y máximos relativos de días de tormentas

Destacar algunas zonas singulares en la Meseta Norte con máximos relativos, como son: la región del NW de la provincia de Salamanca y Sur de la de Valladolid. Por contra Gredos, con los picos más elevados de toda la región, da unos mínimos de la zona (6 días).

De los 67.972 negativos y 2.704 positivos detectados en la región de estudio durante el verano de 1993, se ha analizado su distribución espacial, **normalizada** respecto al máximo de todas las cajas, tanto de los negativos como de los positivos. Hay que destacar que **sólo el 18 de Junio se registraron 14.798 negativos y 461 positivos**, los que supone una gran contribución al total de la Campaña.

En las figuras Fig. 8 y Fig. 9 podemos observar la distribución de los rayos negativos y positivos normalizados, en las 24 horas, respecto al máximo alcanzado en todas las rejillas, que fue de 385 rayos para los negativos (situado en la vertiente segoviana de la Sierra de Guadarrama con LAT=41.2° y LON=3.8°) y 41 rayos para los positivos (en LAT=39.6° LON=3.6°, localizado en las zonas llanas de la provincia de Toledo). Mientras el primero parece estar ligado directamente a una zona modulada por la componente orográfica (incluso se corresponde con un máximo relativo de días con convección), el máximo de positivos parece obedecer a otro origen, situándose en una zona de mínimo relativo, en cuanto al días de tormentas.

Cuando se analizan las siguientes figuras deberemos de tener en mente la existencia de **contorneos concéntricos y aislados** que se generaron como consecuencia de que algunas estructuras tormentosas pudieron desarrollar, por sí mismas, gran cantidad de rayos y/o permanecieron cuasiestacionarias en la misma zona durante un corto período de tiempo. Este hecho queda confirmado si se encuentra situado en **zonas con un mínimo de días de tormentas**. Como ejemplo tenemos las estructuras singulares que aparecen en el SW y Centro de Ciudad Real como consecuencia de la existencia de tormentas cuasiestacionarias asociadas al día 18 de Junio de 1993, en zonas con mínimos de días de tormentas.

### *Negativos.*

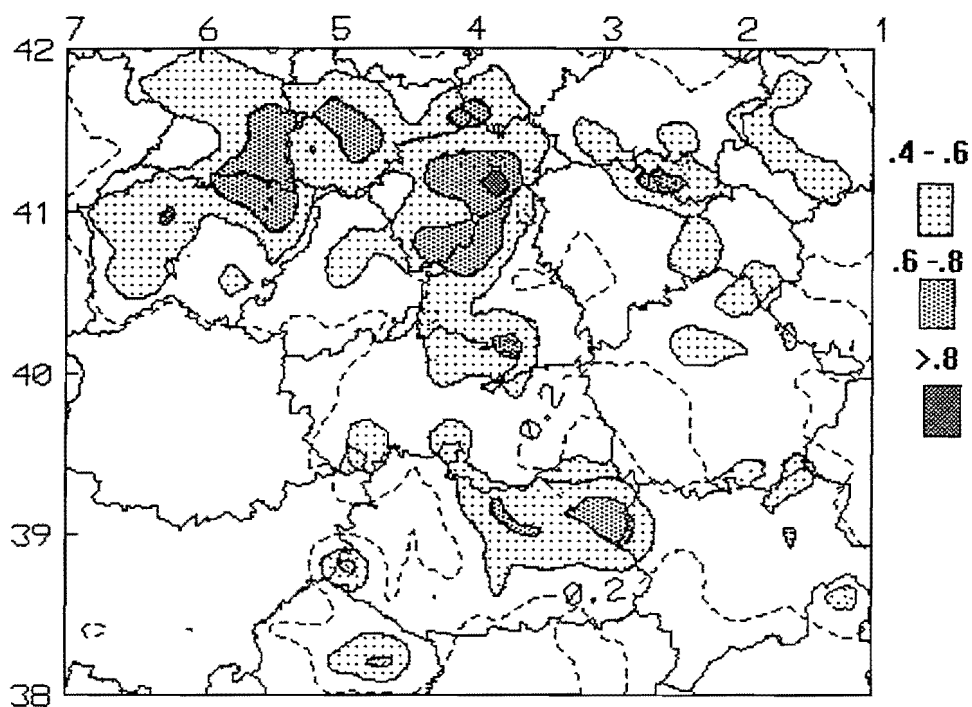
#### *I. Zona Norte: Meseta Norte.*

En la Fig 8 (están sombreadas las zonas con porcentajes  $\geq 0.4$ ) vemos las áreas donde se concentró la mayor actividad tormentosa, que están ligadas en parte a la orografía de la región. En ella destaca la uniformidad de la Meseta Norte interrumpida por los máximos asociados a las zonas próximas a ciertas regiones elevadas del Sistema Central y otros en las llanuras mesetarias:

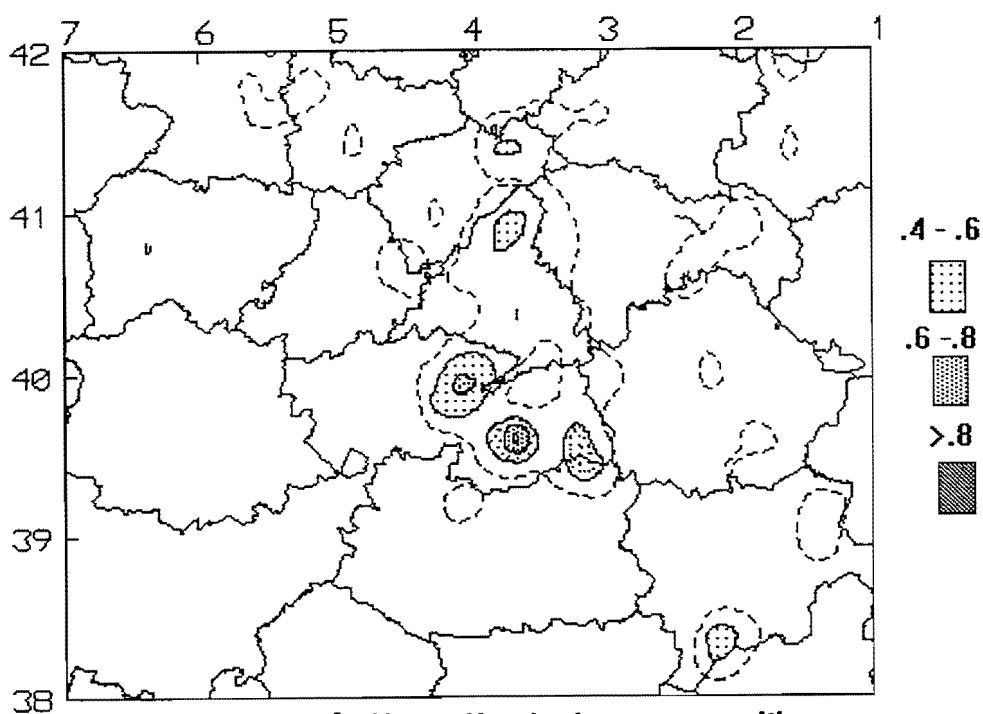
\*En la vertiente segoviana de la Sierra de Guadarrama se encuentran los máximos absolutos de toda la región, uno próximo a la propia capital y otro que se sitúa en las Tierras de Sepúlveda.

\*En las riberas del Duero aparece una amplia zona que arranca desde el NE de Salamanca y afecta a Zamora y Valladolid.

**Nota:** El sombreado empleado en todas las distribuciones espaciales de rayos negativos y positivos, se basa en las escalas representadas en estas dos figuras y se supondrá que vale para el resto de las figuras equivalentes, por lo que dichas escalas no se van a repetir .



**Fig. 8 Dis. Normalizada de rayos negativos**



**Fig. 9 Distribución Normalizada de rayos positivos**

\*Otro máximo relativo se encuentra sobre tierras "llanas" en la confluencia de las provincias de Valladolid, Burgos y Segovia, en la misma comarca donde se alcanzaba el número máximo de días con tormentas (18). Este último puede estar ligado al anterior, desde el punto de vista topográfico (eje del Duero).

Por contra existe un mínimo relativo, muy llamativo, justamente en la zona donde el Sistema Central alcanza sus mayores alturas: Zona de Gredos al sur de la provincia de Avila. Esta zona no presenta una caída abrupta de sus picos sobre la Meseta Norte sino que está formada por un conjunto de sierras y valles que van perdiendo altura de forma gradual en la provincia de Avila, desde la propia Sierra de Gredos pasando por la Sierra de la Paramera y la Sierra de Avila hasta alcanzar a las zonas llanas de la Meseta. Es en la parte Norte de esta última donde se alcanza un máximo relativo de rayos dentro de la provincia de Avila.

## *II. Zona Sur: Extremadura y Meseta Sur.*

La zona Sur ofrece una estructura más compleja y menos uniforme que la Norte. Distinguiremos dos zonas bien diferenciadas: la región extremeña y la propia Meseta Sur formada por las comunidades de Castilla-La Mancha y Madrid.

### *II.a. Extremadura.*

La región extremeña posee un mínimo en casi toda las zonas, tan sólo interrumpido en las zonas de más elevación: Sierra de Guadalupe en el SE de Cáceres y las colinas más occidentales de Sierra Morena, al Sur de Badajoz, pero no llegan a verse con el contorno utilizado en la Fig 8.

### *II.b. Meseta Sur.*

En esta zona aparece la componente orográfica ligada a los máximos de actividad. El máximo se encuentra ligado al S. Ibérico, justamente al Norte de la provincia de Guadalajara, siguiendo con otros tantos que pasan por la Serranía de Cuenca y finaliza por las zonas altas de Albacete, donde las últimas estribaciones del S. Ibérico y S. Bético se funden.

El Sistema Central, en su vertiente Sur, no ofrece una configuración tan clara como en su vertiente Norte. Tan sólo existe un máximo relativo en la zona Sur de la Sierra de Guadarrama y centrado en el Norte de la provincia de Madrid.

La poca altura de los Montes de Toledo no dan una estructura muy bien definida. Este hecho se repite en las zonas limítrofes a S. Morena, al Sur de la región.

Además aparecen unos máximos relativos en zonas más llanas, situados y otro en el centro de La Mancha que abarca la parte Este de C. Real y NW de Albacete (zona de las Lagunas de Ruidera).

Los máximos relativos del SW de Ciudad Real y Norte de Córdoba estuvieron ligados a tormentas estacionarias y muy activas que se desarrollaron en un solo día (18 de Junio del 1993).

### *III. Evolución temporal cada 6 horas.*

Antes que comentar los positivos, resulta muy interesante repetir el mismo proceso pero analizando la distribución espacial cada 6 horas y normalizada con respecto a los máximos en cada período correspondiente, para tratar de destacar el efecto diurno y orográfico, así como otros posibles elementos que no se han tenido en cuenta.

Resaltar que al ser una muestra muy reducida (38 días) podían existir estructuras muy bien organizadas capaces de producir gran cantidad de rayos en una zona muy específica por un período de varias horas, de forma que al realizar el cálculo del número de rayos en las cajas, definidas con anterioridad, generen valores muy elevados en dichas zonas. El resultado podría ser la aparición de núcleos compactos y aislados del resto de la configuración o distribución general de rayos ( como así ocurrió). Las Fig. 10 a,b,c y d nos reflejan la evolución espacial cada 6 horas.

Entre 00 y 06 z la información que podemos sacar de la Fig 10a no es muy significativa ya que existen dos núcleos muy marcados sobre Sierra Morena correspondiente a un sólo día (18 de Junio).

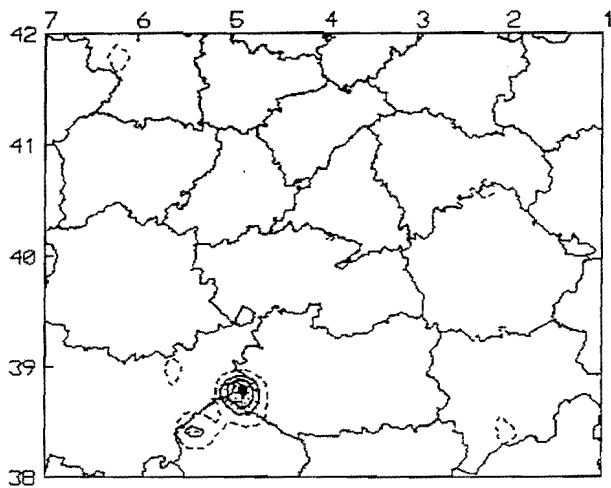
Entre 06 y 12 z, Fig 10b, sigue manifestándose el mismo hecho sobre parte de la zona Sur. Además comienzan a aparecer algunos núcleos tormentosos en las zonas llanas de la Meseta Norte.

El efecto del calentamiento diurno es notorio entre las 12 y 18 z, Fig 10c, donde existe una explosión generalizada por toda la ventana de estudio, siendo equivalente a la Fig 8 que lo refleja de 00 a 24 z. Además de las zonas ligadas a la orografía, vertiente norte del S. Central e Ibérico, llama la atención la existencia de dos zonas relativamente llanas que muestran una diferencia entre si: la asociada a la Meseta Norte y otra a la Sur, que afecta a las provincia de Ciudad Real y Sur de la Madrid, mucho menos uniforme que la primera.

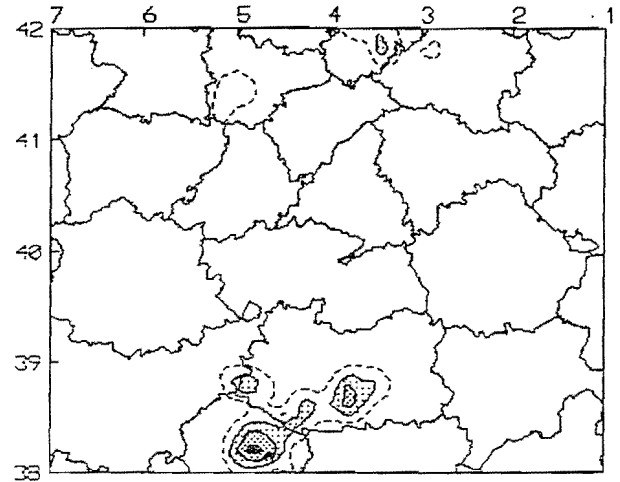
En la Fig 10d vemos de nuevo los efectos comentados con anterioridad. Por una parte la presencia de estructuras aisladas y asociadas a días muy específicos con gran actividad eléctrica en dichas regiones, y por otra parte el efecto del calentamiento diurno que hace decaer de forma sensible la convección en dicho período. De la zona amplia de Castilla-La Mancha que encontramos entre las 12 y 18 z, sólo quedan varios núcleos desplazados hacia el NE. Destacan las zonas llanas de Castilla y León que se llevan los máximos en este período.

Más sentido meteorológico se obtendría al separar y analizar los días de tormentas en función de alguna característica sinóptica: tipo de flujo en 700 mb, situación en altura, inestabilidad, etc., que podría darnos una luz sobre otro factor que debe de modular el origen, desplazamiento y mantenimiento de la convección más allá de las 18 z.

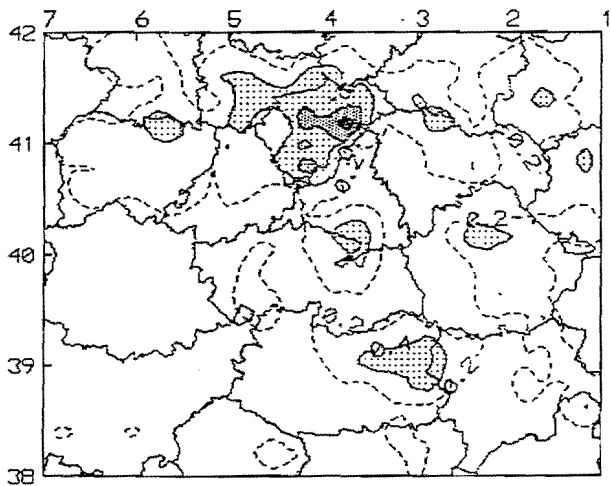
**Fig 10 Distribución espacial normalizada de rayos negativos, respecto al máximo de cada período temporal, en rejillas de  $0.2 \times 0.2^\circ$ . a) 00-06Z. b) 06-12Z. c) 12-18Z. d) 18-24Z.**



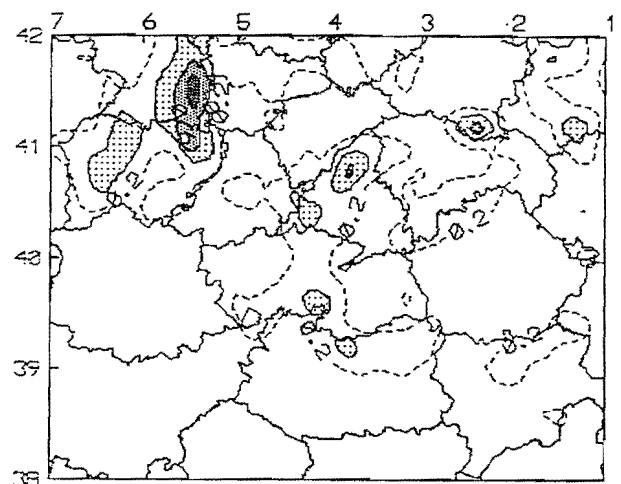
**Fig. 10a Dis. Normalizada de Neg. entre las 00-06 z**



**Fig. 10b Idem caso anterior pero 06-12 z**



**Fig. 10c Idem caso anterior pero entre 12-18 z**



**Fig. 10d Idem caso anterior enter 18-24 z**



### **Positivos.**

La distribución de los positivos, Fig. 9, normalizada respecto al máximo de todas las áreas de  $0.2 \times 0.2^\circ$ , en 24 horas nos muestra **una distribución que no tiene nada que ver con la de los negativos**, ya que las máximas concentraciones tienen lugar en las Comunidades de Castilla-La Mancha, y en especial en las provincias de Toledo, Ciudad Real y Madrid. Núcleos secundarios se encuentran repartidos por el resto de las zonas.

En general la presencia de descargas positivas, mucho menor que las negativas, está íntimamente ligada al ciclo de vida de las estructuras tormentosas: no sólo se presentan en las zonas más activas de la convección (aunque su número es muy reducido) sino que su presencia aumenta en la fase de disipación. Además pueden existir dos situaciones en que la proporción de positivos es muy marcada:

- Situaciones moduladas sinópticamente que generan fuerte cizalladura del viento en la vertical y/o fuerte inestabilidad, esto es, la presencia de entornos proclives a organizar la convección. De esta forma, la presencia de positivos se configura de la misma forma que los negativos: gran cantidad de rayos concentrados en pequeñas áreas ligadas a las propias zonas convectivas.

- Situaciones en que la intensidad de los rayos negativos sea lo suficientemente baja como para no ser detectados por nuestro sistema y no pasar los test de validación. Por contra al ser los positivos, en general, más intensos quedarían como los únicos rayos detectados y tratados. Estas situaciones se suelen presentar en zonas alejadas de la red donde la eficiencia de detección y los errores de posicionamiento son muy grandes, dando lugar a organizaciones anómalas o sin sentido meteorológico. Este hecho queda descartado en la ventana de estudio al estar muy bien cubierta por nuestra red.

El aspecto celular y compacto de algunas estructuras de la Meseta Sur nos hace pensar que es una consecuencia del primer hecho: existencia de ciertos días en los que la actividad de positivos fue muy acusada y centrada en células muy activas.

La concentración tan marcada de estas zonas, debido al elevado número de rayos positivos, hacía que el resto de las regiones quedaran con valores normalizados muy pequeños. En las Fig. 11 a, b, c y d, se ha realizado el mismo proceso que el ejecutado con los negativos, agrupándose cada 6 horas.

Los núcleos compactos y aislados que se generaron entre las 00 y 06 z, Fig 11a, parecen corresponder a estructuras aisladas de días determinados sin ninguna relación con los centros equivalentes de la Fig 10a, o a restos de la convección de evolución diurna. Algo parecido ocurre entre las 06 y 12 z, Fig 11b.

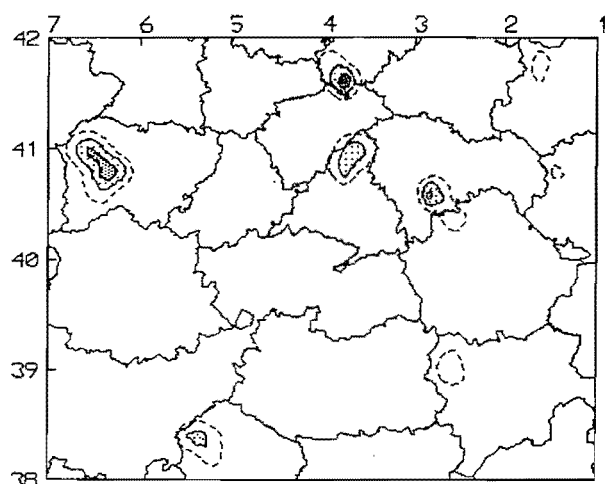
Es entre las 12 y 18 z, Fig 11c, cuando las zonas ubicadas en las provincias de Toledo, Ciudad Real y Madrid parecen ofrecer una señal significativa y asociada en primer término a la componente diurna y siendo además las que contribuyen de forma notoria a la distribución total de positivos, Fig. 9. Es por lo que su número se ha incrementado respecto a las horas anteriores. Otros núcleos secundarios, de menor entidad, parecen estar asociados a los máximos de descargas negativas, de las zonas montañosas: Sistema

Central en la vertiente segoviana y madrileña, el reguero del Sistema Ibérico (Guadalajara, Cuenca y Albacete) y la zona SW de Albacete.

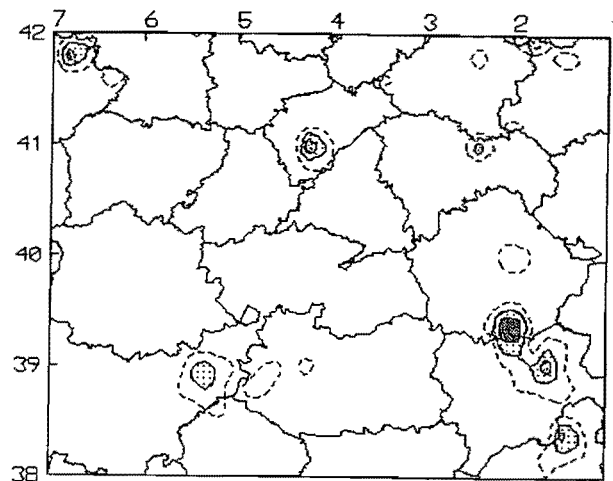
Entre la 18 y 24 z, Fig 11d, la extensión relativa de positivos ha decaído pero se siguen manteniendo algunas zonas de la Meseta Sur y puntos del Sistema Central.

Por lo tanto la presencia y distribución espacial de positivos no sólo posee una componente diurna sino que, para este período estival, debe de estar altamente modulada por otros factores (de tipo sinóptico y/o mesoescalar). Como consecuencia de ello aparecen unos máximos concentrados en la Meseta Sur, lejos de la distribución espacial general, que en ese mismo período de tiempo, reflejaba los negativos pero correspondiéndose con una zona amplia y extensa de negativos que afectaban a las mismas provincias.

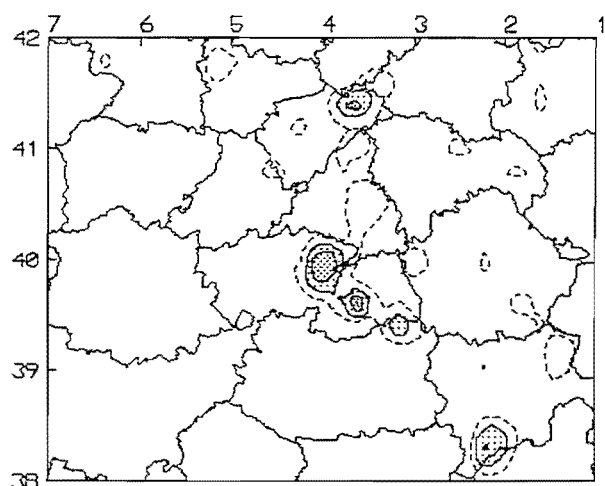
**Fig 11 Distribución espacial normalizada de rayos positivos, respecto al máximo de cada período temporal, en rejillas de  $0.2 \times 0.2^\circ$ . a) 00-06Z. b) 06-12Z. c) 12-18Z. d) 18-24Z.**



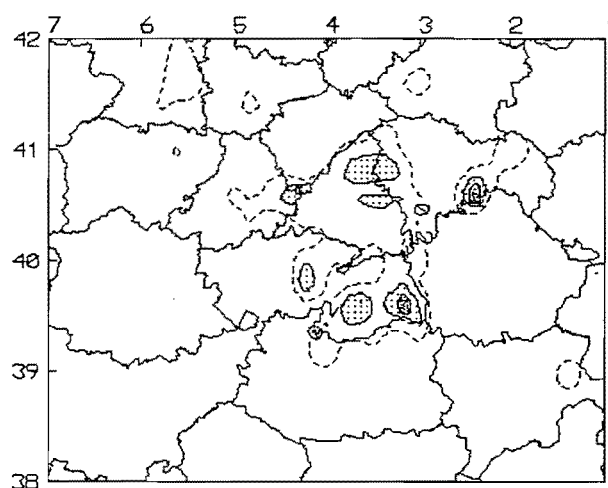
**Fig. 11a Dis. Normalizada de Pos. entre 00-06 z**



**Fig. 11b Idem caso anterior enter 06-12 z**



**Fig. 11c Idem que el caso anterior entre 12-18 z**



**Fig. 11d Idem que en el caso anterior entre 18-24 z**

## 5. ANALISIS DE RAYOS PARA ALGUNAS CAPITALS DE PROVINCIA.

Se han analizado la distribución temporal de los rayos que han sido detectados en una área de  $0.2 \times 0.2^\circ$  y centrada en ciertas capitales de provincias de la zona de estudio, esto es, el porcentaje de número de rayos en una hora con respecto al total de rayos. En cada una de ellas aparecen en la cabecera el número total de negativos, NN, y positivos, NP, Fig. 12. Las capitales seleccionadas fueron Salamanca, Segovia, Madrid, Toledo, Albacete y Ciudad Real.

Las líneas gruesas representan las distribuciones de los negativos y las punteadas los positivos. Desgraciadamente el número de positivos detectado en dichas áreas es muy reducido y no se pueden sacar conclusiones significativas, tan solo hacer notar que, para esta muestra, los puntos seleccionados de la Meseta Sur poseen más positivos que los de la Norte, hecho que se invierte en los negativos.

Llama la atención que en todos ellos la actividad eléctrica negativa se concentró en las horas posteriores al mediodía, coincidiendo con el calentamiento diurno y decayó, considerablemente, después de las 19 z, menos en Albacete que ofrece un máximo muy acusado a las 21 z, pero este resultado hay que tomarlo con precaución pues sólo contamos con 8 ó 9 días de tormentas en dicha área.

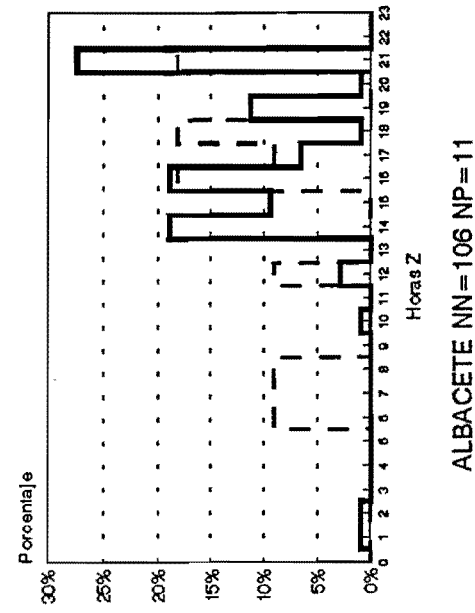
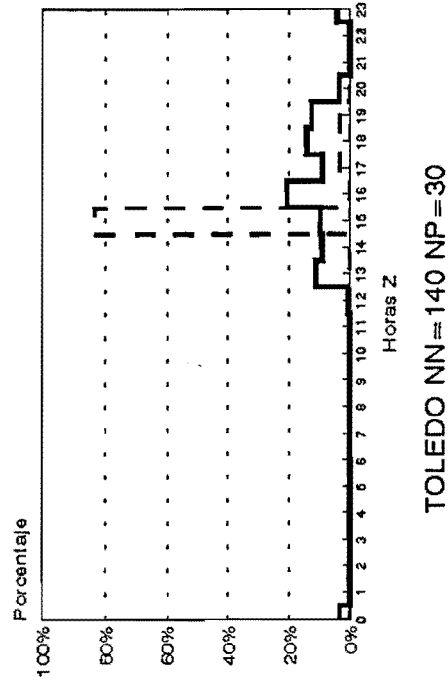
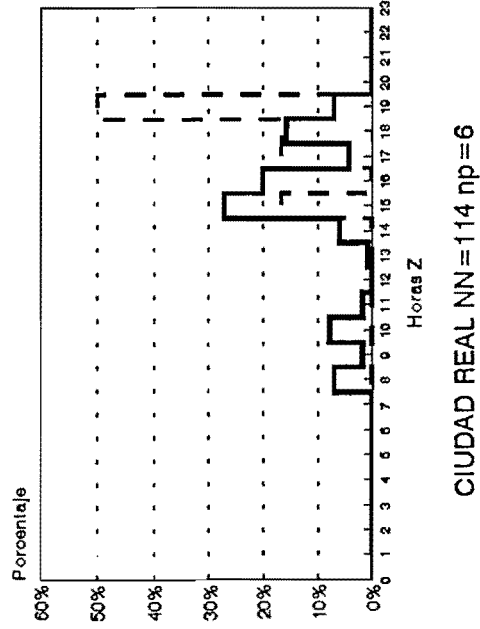
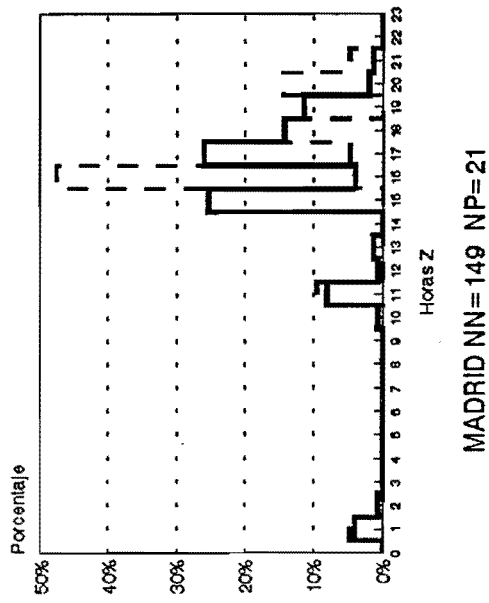
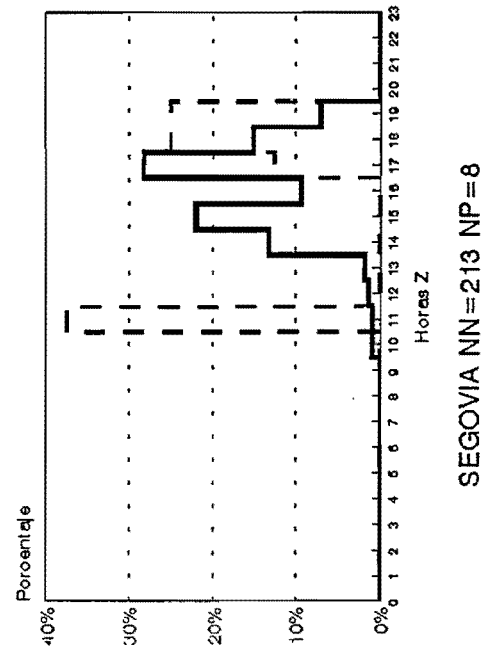
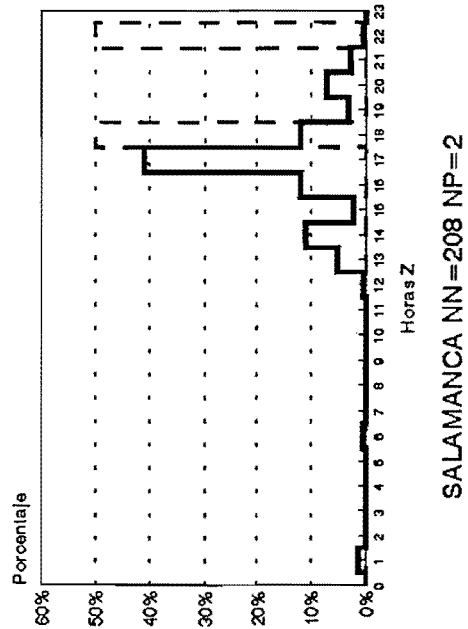


Fig. 12 Distribución temporal de rayos  
en 6 Capitales de la Zona Centro

## 6. CONCLUSIONES.

Se han analizado los 38 días tormentosos (con más de 10 rayos) que se dieron durante los 92 días del verano de 1993 en una ventana espacial determinada de la Zona Centro. Es la primera vez que se trabaja con datos de rayos para intentar caracterizar su distribución espacial y temporal en una zona determinada de la península, sin disponer de otros datos objetivos con tan buena resolución espacial y temporal.

La distribución temporal de los rayos nos muestra **su gran variabilidad diaria**, predominando Junio frente a Julio y Agosto, y este último sobre el segundo. No se han analizado en esta nota las posibles causas que pueden controlar dicha variabilidad pero debe estar condicionadas por efectos sinópticos y mesoescalares

Es notorio el efecto que el **calentamiento diurno** tiene lugar en la generación de los rayos en la zona de estudio, durante el período estival, de forma que la mayoría de ellos se concentran después del mediodía (12 z) con un máximo a las 16 z para los negativos y a las 18 z para los positivos. Mas allá de la caída del sol, puede persistir la actividad eléctrica, pero su contribución es muy reducida.

Las horas de máxima actividad se encuentran entre las 15 y 18 z para ambos tipos de rayos, ligado de nuevo al máximo calentamiento diurno.

Además de la componente solar, debe estar presente también la sinóptica, ya que se han dado situaciones en que los primeros rayos se han registrado en horas nocturna (primeras horas del día antes del orto) aunque el máximo se ha dado en torno a las 10 z para los negativos y una o dos horas después para los positivos. Por contra los últimos rayos han llegado a perdurar más allá de la medianoche aunque los porcentajes máximos se centran entre las 19 y 24 z.

Aunque el efecto del calentamiento diurno es importante, no es el único; así regiones en donde se alcanzan elevadas temperaturas diurnas (Andalucía Occidental, Extremadura, etc) no son zonas donde la convección se dispare con facilidad. La distribución espacial de la actividad tormentosa nos muestra la influencia que desempeña la orografía en la generación de estos fenómenos mediante los procesos de **calentamiento diferencial y sus circulaciones mesoescalares asociadas**.

La distribución espacial del número de días con tormentas esta íntimamente relacionado con la distribución espacial de negativos, siendo estos los que caracterizan la actividad tormentosa en esta región de estudio durante la época estival. Resulta muy útil comparar ambas distribuciones pues es posible distinguir algunas características importantes:

\*La Meseta Norte se muestra mucho mas uniforme que la Zona Sur: Meseta Sur y Extremadura.

\*Los máximos de actividad negativa se alcanzan entre las zonas segovianas limítrofes a la Sierra de Guadarrama y Somosierra, con máximos secundarios a lo largo de la vertiente Norte del Sistema Central. Otros máximos secundarios aparecen en sus zonas llanas.

\*Al unir los máximos días de tormentas, se pueden adivinar varias zonas o ejes significativos, Fig 8:

\*Las de carácter orográficos:

- Sistema Central, **SC** , en su vertiente norte.
- El Sistema Ibérico, con dos alineaciones definidas, la **SI1** y **SI2**.

\*Las asociadas a grandes ríos o cuencas hidrográficas:

- El Duero, **D**, en la Meseta Norte.
- El Tajo, **T**, en la Meseta Sur.

\*Dentro de estos ejes aparecen singularidades notorias asociadas a grandes concentraciones de masas de agua: embalses, lagunas,etc. Dentro de esta categoría caben diferenciar :

\* Las que generan un número elevado de días de tormentas, Fig,7, pero por contra dan lugar a pocos rayos y no se ponen de manifiesto en la distribución espacial de la Fig. 8. Son los casos de los embalses extremeños de Valdecañas, Cijara,etc.

\* Las masas de agua, que por contra dan máximos relativos de días de tormentas y de rayos negativos: embalses de Entrepeñas y Buendía en Guadalajara y Cuenca, Peñarroya en C. Real junto a las Lagunas de Ruidera, y por último las masas de aguas retenidas en la Meseta Norte en las provincias de Salamanca y Zamora que desembocan en el Duero.

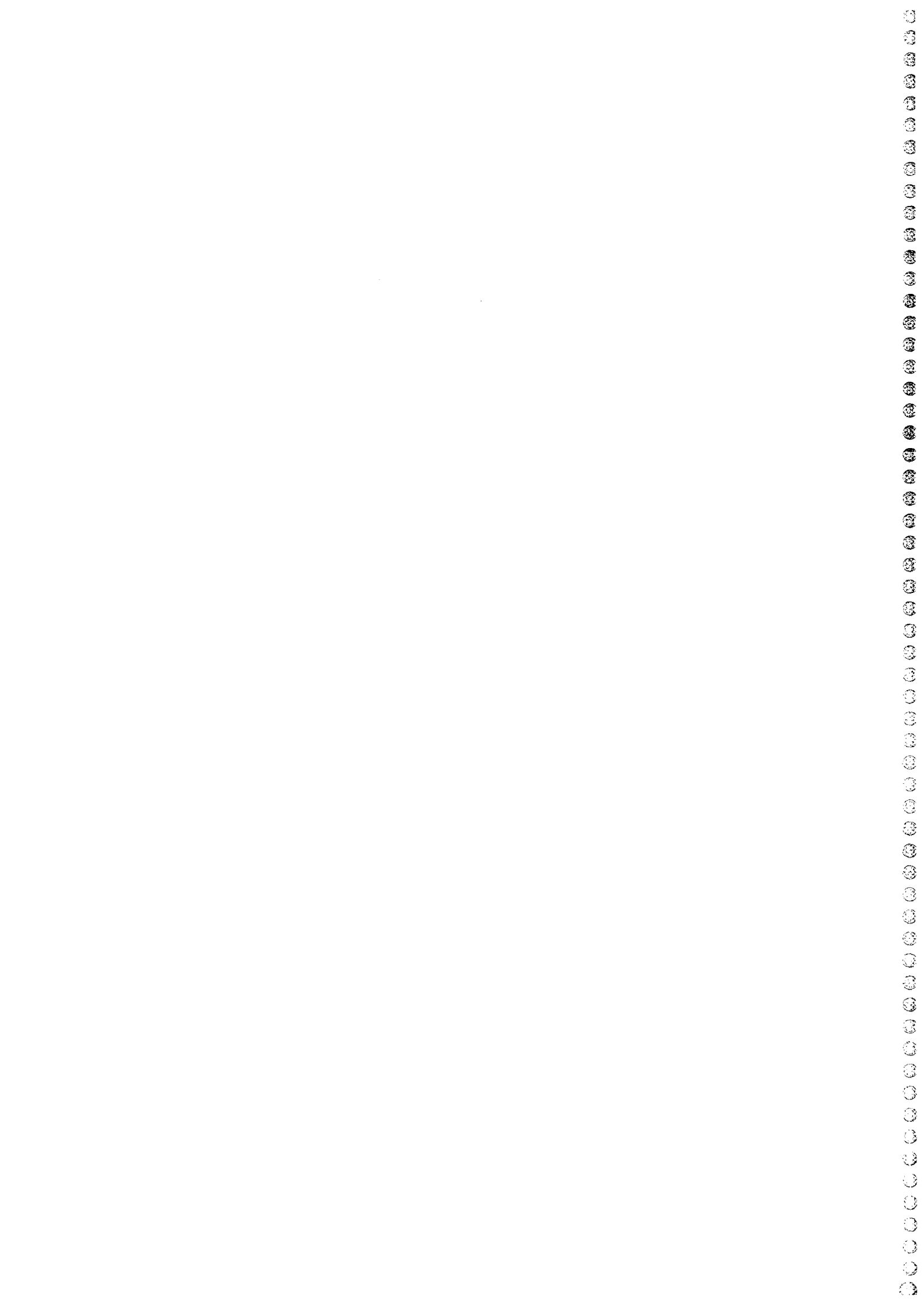
\* La provincia de Albacete posee unas peculiaridades especiales pues posee una gran uniformidad en el día de tormentas, respecto al resto de la Meseta Sur, destacando dos zonas bien diferenciadas:

\*La zona montañosa del SW, ligadas al Sistema Bético (S de Alcaráz y Calar del Mundo).

\*Las zonas asociadas a las riberas del Jucar, el Norte.

En ningún caso, estos ejes o zonas, ligadas a los máximos relativos de días con tormentas, y comentadas con anterioridad, deben de confundirse con las trayectorias preferentes o "caminos" que siguen las tormentas.

Por contra los positivos parecen manifestar otro modelo geográfico de distribución, concentrándose en la Meseta Sur asociándose al posible papel que puedan desempeñar cierto tipo de situaciones meteorológicas que condicionan las características locales. El efecto del calentamiento diurno también es importante en su generación.





AREA DE PREDICCION

**SERVICIO DE TECNICAS DE ANALISIS Y  
PREDICCION**

**NOTA TECNICA N° 19**

**EDICION**

**10-Noviembre-94**

**REVISION**

**-0-**

# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## **PARTE II**

### **CARACTERISTICAS ASOCIADAS A SITUACIONES ATMOSFERICAS**

**Francisco Martín León**

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA  
Subdireccion General de Predicción y Vigilancia**



## **PARTE II: CARACTERISTICAS ASOCIADAS A SITUACIONES ATMOSFERICAS.**

	<b><u>Pag.</u></b>
<b>1. INTRODUCCION.</b>	1
<b>2. DISTRIBUCION ESPACIAL DE RAYOS EN FUNCION DEL FLUJO EN 700 MB.</b>	2
2.a. Flujo del SW.	4
<i>*Número de días.</i>	4
<i>*Negativos.</i>	4
<i>*Positivos.</i>	8
2.b. Flujo del SE.	11
<i>*Número de días.</i>	11
<i>*Negativos.</i>	11
<i>*Positivos.</i>	13
<b>3. DISTRIBUCION ESPACIAL DE RAYOS EN FUNCION DEL TIPO DE FORZAMIENTO.</b>	19
3.a. Tormentas de Masa de Aire (MA).	19
<i>*Número de días.</i>	19
<i>*Negativos.</i>	22
<i>*Positivos.</i>	23
3. b. Tormentas con Forzamiento Sinóptico (FS).	25
<i>*Número de días</i>	25
<i>*Negativos.</i>	25
<i>*Positivos.</i>	25
<b>4. CONCLUSIONES.</b>	31



## 1. INTRODUCCION.

En la primera parte de este trabajo se analizaron ciertos datos proporcionados por la red de detección de rayos del INM, en una ventana espacial que abarcaba gran parte de la Zona Centro y durante los meses estivales. Las conclusiones más generales y significativas fueron:

- la influencia del **ciclo diurno** en la generación de las tormentas.
- el papel de los **accidentes locales** (sierras, embalses, ríos, etc) en cuanto a la distribución del número de días de tormentas y espacial de los rayos.
- la gran variabilidad eléctrica** que se producía de un día a otro, e incluso entre los propios meses. Julio fue un mes con una escasa actividad tormentosa.
- El diferente comportamiento, en cuanto al número de días y distribución espacial de los rayos de la Meseta Norte (mucho más uniforme), Meseta Sur y Extremadura.
- el **predominio de rayos negativos** frente a los positivos, siendo los primeros muy útiles para el análisis de la generación, distribución y evolución de las tormentas en la Zona Centro. La distribución de los positivos estaba condicionada por algunos días en los que se generaron tormentas muy eficientes a la hora de desarrollar positivos en la fase más activa de la convección así como, pero en menor medida, en la fase de disipación de los focos tormentosos en general.

En los siguientes apartados se va a tratar de separar la muestra en función de algún parámetro meteorológico de interés para la predicción, derivado de los resultados obtenidos durante la Campaña del 1992. Discutiremos los siguientes casos:

*I. Distribución de los rayos en función del flujo en 700 mb.*

*II. Idem para tormentas con Forzamiento Sinóptico (FS, desde ahora) y de Masa de Aire (MA, desde aquí).*

La metodología va a ser parecida a la realizada en la primera parte y focalizada a la distribución espacial de los rayos en 24 horas y en períodos horarios de 6 horas, siempre referidos a cuadrículas o rejillas de  $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ . Todas las representaciones espaciales de la distribución de rayos negativos y positivos están normalizadas respecto al máximo obtenido de todas las rejillas en el período referenciado, con un contorneo inicial del 0.2 en intervalos de 0.2.

Antes que nada hay que resaltar que el día 18 de Junio fue eliminado en ciertos momentos del estudio (se indicará en los apartados correspondientes) por las razones aducidas en la parte primera ( generó, en un solo día, cerca de la cuarta parte de las descargas negativas de toda la Campaña y en particular condicionaba las salidas relativas a las distribuciones espaciales de los rayos negativos.

**NOTA:** Habría que aclarar qué entendemos por tormentas de Masa de Aire. Se denominan así a las tormentas que se desarrollan por calentamiento diurno y con un forzamiento sinóptico en niveles medios-altos muy débil. Dado que, en general, no se produce un cambio significativo de masa de aire de niveles bajos y que ésta sufre un fuerte calentamiento radiativo por el suelo, también se le denomina, impropriamente, a estas tormentas como " de

calor". **De la utilización intensiva de las imágenes de vapor de agua, WV,** de la combinación de la topografía del geopotencial de 300 mb (e incluso de niveles superiores) y de la temperatura en 500 mb, o mediante otros campos derivados específicos de diagnosis, etc., se ha observado que en la mayoría de los casos, en que se desarrollan tormentas de estas características, aparece la presencia de una perturbación en altura (imágenes WV) que se suele reflejar en una vaguada térmica en 500 mb con temperaturas inferiores a  $-10^{\circ}\text{C}$ . Esta vaguada al penetrar en la zona peninsular, y coincidiendo con el calentamiento diurno, puede producir la suficiente inestabilidad, en la vertical, como para desencadenar fenómenos tormentosos modulados por la orografía. En otras palabras, el origen de estas tormentas no es un problema sólo de capas bajas sino también de niveles altos. De cara a la predicción, estas vaguadas térmicas estivales en 500 mb se suelen reflejar, además, como vaguadas poco marcadas dinámicamente en 300 mb, y en general son mal resueltas y tratadas por las salidas numéricas de modelos de predicción.

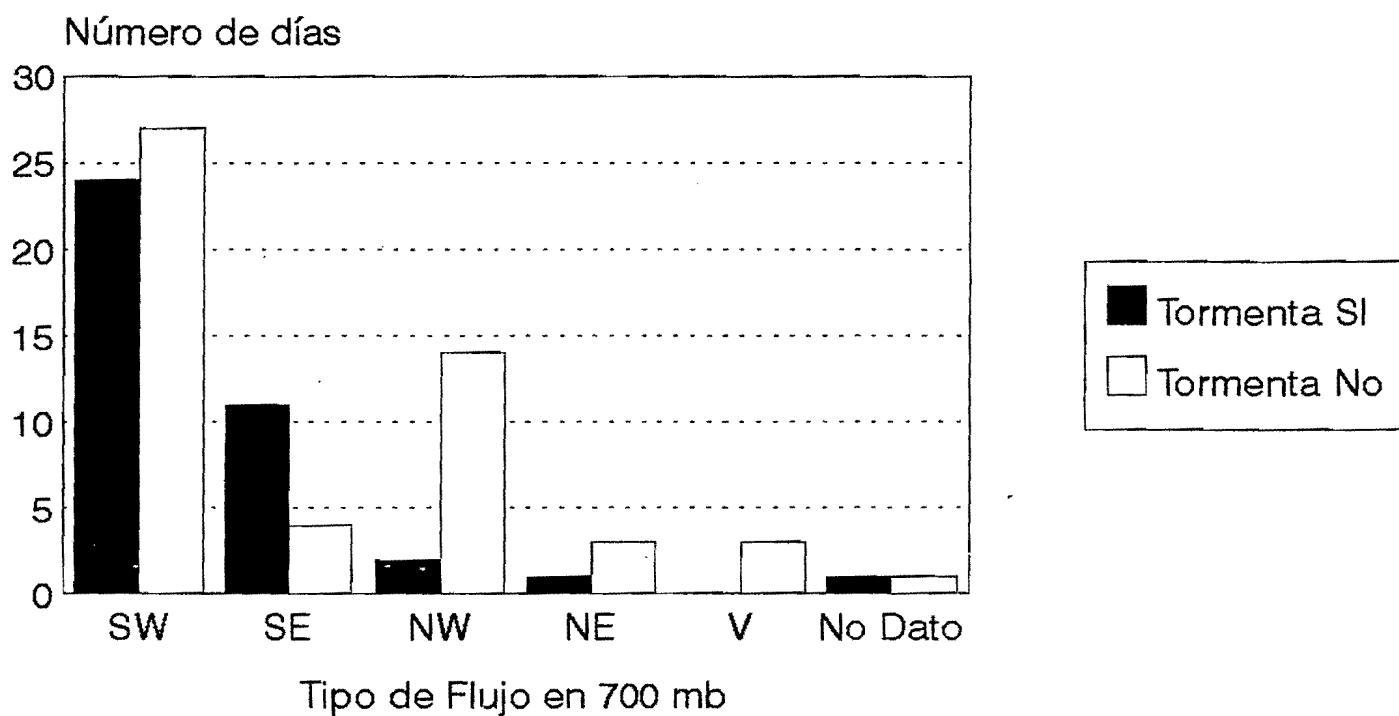
## **2. DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS RAYOS EN FUNCIÓN DEL FLUJO EN 700 MB.**

El flujo en 700 mb resultó ser un elemento importante (no fue el único) en la generación o no de la convección en la Zona Centro durante la Campaña de 1992 (Martín F. et al., 1994), siendo los flujos de componente S (SW y SE) los que más la favorecían. Como en la mayoría de los días las tormentas fueron de evolución diurna se ha tomado como única referencia las 12 z, y los valores del viento en 700 mb los suministrados por el sondeo de Barajas (Madrid). Este último hecho puede tener sus pegas, a la hora de caracterizar a la convección que se generó fuera de un radio determinado de donde se realiza el sondeo (unos 100 Km de Barajas) y de una ventana temporal de varias horas ( $\pm 3$  horas), pero había que decidirse por un elemento objetivo. Se pudo elegir estos valores a las 00 z, hora a la que el predictor puede disponer de este dato del sondeo para realizar su predicción de tormentas (entre otros) o los correspondientes a los valores medios de 00 y 12 z del día. Otro posible candidato podía haber sido el viento promediado, en 700 mb, sobre Barajas de los diferentes puntos de grids que cubren toda la zona, y derivado de los análisis objetivos del LAM de 00 z ó de 12 z. Se tomó al final el de 12 z, como elemento para estratificar la base de datos de rayos, ya que podía representar el viento medio de la troposfera, el viento conductor de las tormentas y se podía disponer de él mediante las salidas numéricas de modelos, con una buena aproximación.

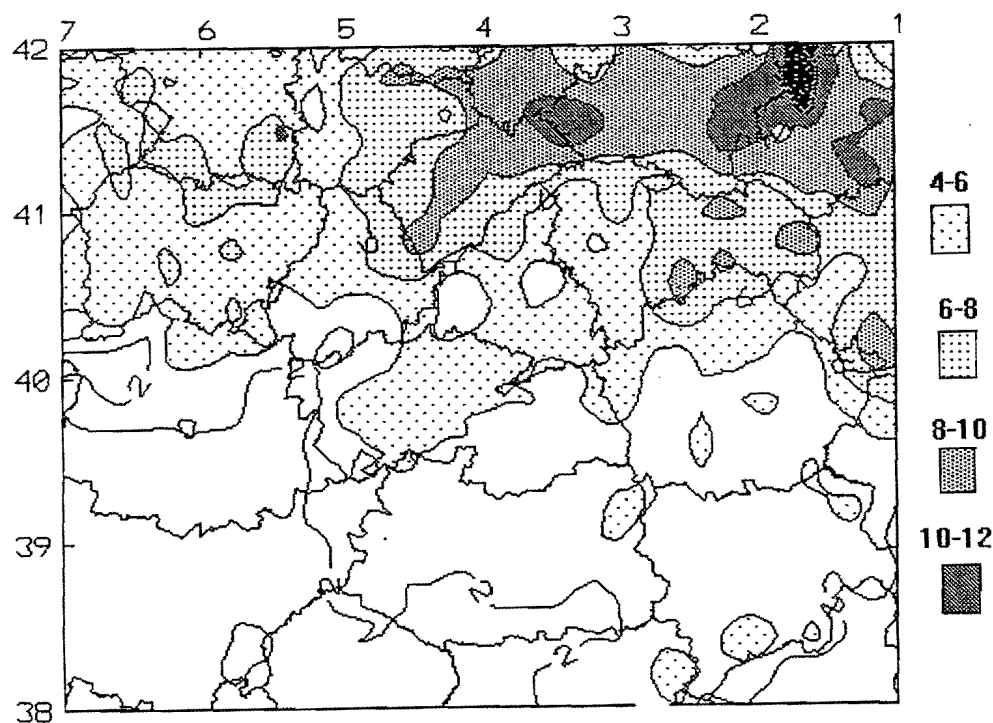
Se separaron los días **en función de la intensidad y dirección del flujo en 700 mb a las 12 z**. Las direcciones se dividieron según el cuadrante de donde venía el viento (NE, SE, SW, NW) y siempre que el viento fuera igual o superior a 5 Kt, en este caso se le asignó el tipo de variable (V). Durante los 92 días de la Campaña no hubo sondeo en dos de ellos y en todos los días en que hubo tormentas la intensidad del viento fue superior a dicho valor (5 Kt). El número de casos que se presentaron, con y sin tormentas, están reflejados en la gráfica de la Fig 1.

El número de rayos detectados fueron de 33002 neg. y 1449 pos., para flujos del SW con 24 días (algo menos de la mitad asociados al día 18 de Junio, 14798 neg. y 461 pos.) y de 27.897 neg. y 978 pos. para los SE para 11 días. Aunque la muestra es algo reducida, podemos deducir a simple vista que las situaciones del SE generan más descargas negativas y positivas que los del SW. Hay que tener en cuenta la gran variabilidad diaria que existe en la generación de rayos de un día para otro y que este hecho debe de ser confirmado en años sucesivos.

**Fig 1. Número de días con/sin Tormentas  
según flujo en 700 mb a las 12Z del sondeo de Barajas  
Campaña 1993 Zona Centro**



(V si la intensidad del viento es <5Kt )



**Fig. 2 Número de días con tormentas con flujo del SW**



Como podemos observar, Fig 1, los flujos de componente Sur son los que más contribuyeron en la generación de tormentas (SW y SE), pero existieron otros tantos días, con las mismas características, en los que no se desarrollaron focos tormentosos (especialmente los SW). En el lado contrario tenemos los flujos de componente Norte, poco favorables para el desarrollo de rayos, y en especial los NW que suelen coincidir con los procesos de advección fría en niveles bajos. Pasemos a analizar los resultados.

## **2.a Análisis de los resultados con flujos en 700 mb del SW.**

### *-a) Distribución espacial del número de días con tormentas.*

De una simple inspección de la distribución espacial y de la ubicación de los máximos y mínimos, Fig 2, podemos ver que se repiten algunas características encontradas en la parte primeras del estudio general:

- Los máximos absolutos se encuentran en el sector NE del Sistema Ibérico, de la ventana de estudios, en las provincias de Zaragoza y Soria.
- La mayor uniformidad que presenta la Meseta Norte que la Sur.
- Los mínimos de la región extremeña y zonas altas de Gredos.

Destacan los máximos que se producen en las Sierra del Moncayo y la Virgen (Zaragoza) con 13 días, ya que, además de ser generadora de núcleos convectivos, también pueden ser zonas de paso de las que se generan y se trasladan por la "ruta norte", que discurre paralela al S. Central, por Segovia, y penetra por Soria (ruta Norte del Duero) para entroncarse con las zonas zaragozanas. Estas dos últimas "rutas" o franjas dan los máximos relativos, en la Meseta Norte, con 10-11 días.

Al bajar a la Meseta Sur nos encontramos con la "señal" del S. Ibérico, tanto más significativa cuanto más al norte, máximos de 9 días sobre los embalses de Entrepeñas y Buendía. El número de días descende cuando pasamos al Sur de Cuenca y Albacete. En esta última provincia, la región del S y SW aparecen hasta 6 días con tormentas formadas en las Sierras de Alcaraz y Mundo o como consecuencia de las que se forman en la Sierra de Segura (Jaén) y se trasladan por el SW de Albacete. En la Sierra Norte de Madrid tenemos otro máximo relativo en la región (8 días).

Por contra los mínimos se dan en Extremadura, tanto mas cuanto más al SW de la región.

Podemos resumir en que existe una tendencia de generación de unos máximos de días con tormentas orientados en la misma dirección que el flujo en 700 mb, esto es, de SW (Badajoz, donde se dan los mínimos) a NE (Soria-Zaragoza, donde se dan los máximos) condicionada por la orografía de la ventana de estudio.

### *-b) Distribución espacial de los rayos negativos con flujo del SW.*

Las distribución espacial en 24 horas se presenta en la Fig 3, desdoblada en dos. En la

Fig 3.a se ha contabilizado el día 18 de Junio y en la Fig 3.b no se ha tenido en cuenta.

Este día fue muy especial, debido al elevado número de rayos negativos que se detectaron y porque todas las regiones estuvieron, mas o menos, afectadas por rayos. Cuando se analiza con cuidado, se observa que las primeras tormentas aparecen a primeras horas del día en la zona meridional de la Meseta Sur (provincia de Ciudad Real y SW de la de Toledo) y norte de Córdoba, con núcleos **cuasiestacionarios** y muy activos. El resultado, en la distribución espacial normalizada, es un conjunto de puntos de rejilla donde se contabilizan gran cantidad de rayos en zonas donde el número de días con tormentas es muy reducido, produciendo unas estructuras de "ojos de buey", al ser contorneadas, Fig 3a etiquetadas con "A".

Este hecho no sólo se produce en este día sino en otros que presentaron las mismas o parecidas características, pero de forma menos acusada: núcleos aislados donde se concentran de forma llamativa las isolineas.

En la Fig 3b se ha eliminado dicho día y podemos observar como la meseta Norte y el Sistema Ibérico son las dos regiones donde se concentran la mayoría de los rayos.

En la Meseta Norte aparecen tres zonas bien diferenciadas:

- Las zonas llanas mesetarias de Salamanca.
- Las zonas próximas al Sistema Central en su vertiente Norte: la franja paralela a dichas montañas que arranca desde el Norte de Avila, pasando por las tierras de Segovia y penetra por el SW de Soria.

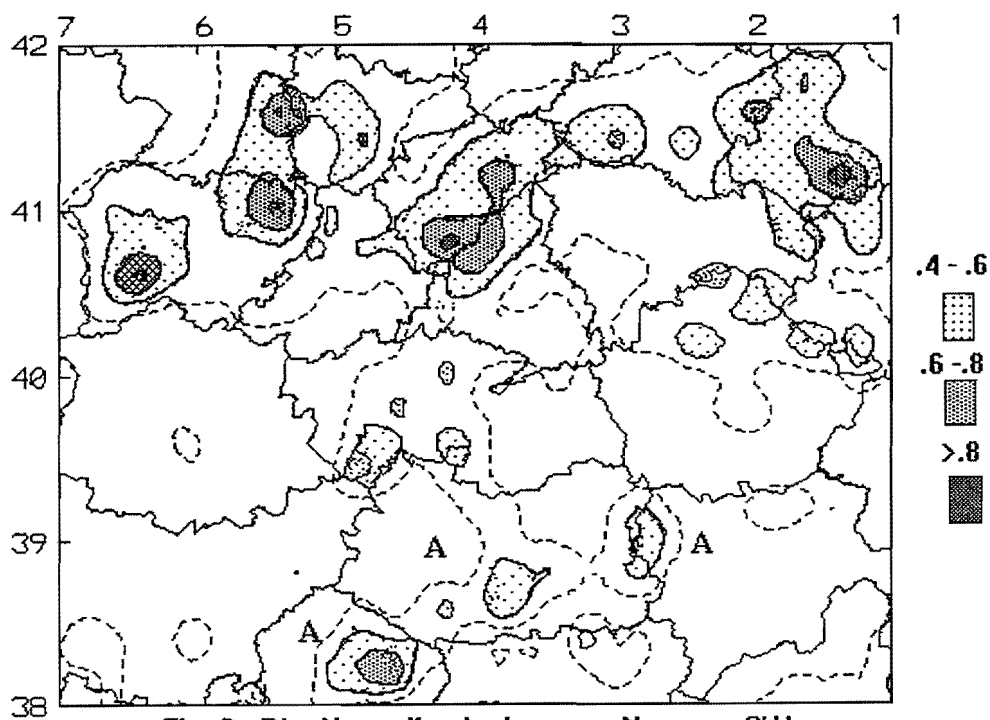
En la Meseta Sur las estructuras no están tan claras:

- Las zonas altas del S. Ibérico: Serranía de Cuenca, La Paramera de Molina. Más al NE nos encontramos con otros máximos en las provincias de Zaragoza y Teruel.
- La zona de los Montes de Toledo.
- Parte de las riberas del Tajo en las provincias de Toledo y Madrid.

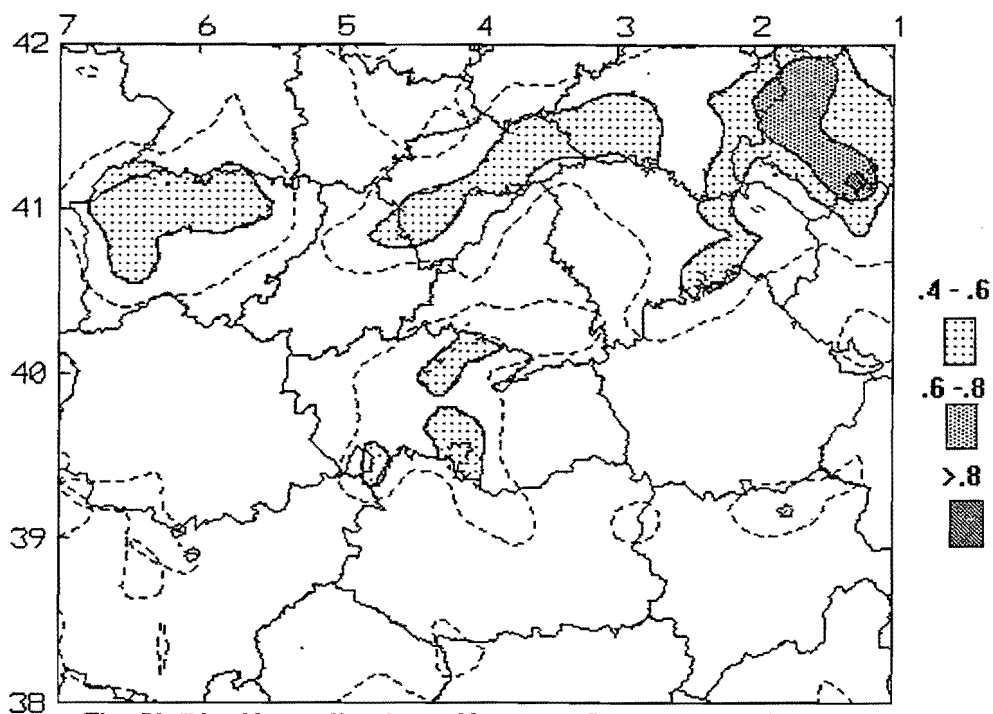
Un núcleo aislado (no concéntrico) se encuentra situado al N y NE de la provincia de Albacete.

Aunque cae fuera de la zona de estudio, las máximas concentraciones de rayos se encuentran en las zonas altas del Ibérico en las provincias de Zaragoza y Teruel, ligadas al Sistema Ibérico.

**Fig. 3 Distribución espacial de rayos negativos con flujo del SW en 700 mb, normalizado respecto al máximo de rejilla ( $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ ) en las 24 horas. a) Todos los días. b) Sin contar el 18 de Junio de 1993.**

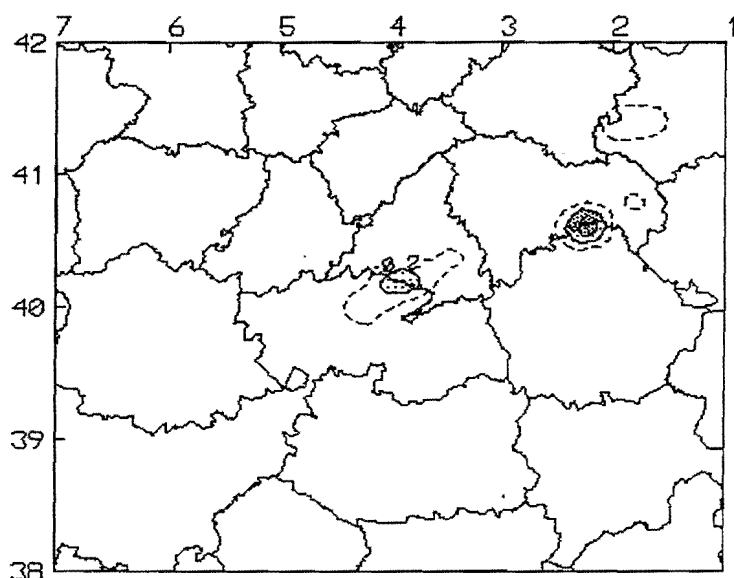


**Fig. 3a Dis. Normalizada de rayos Neg. con SW**

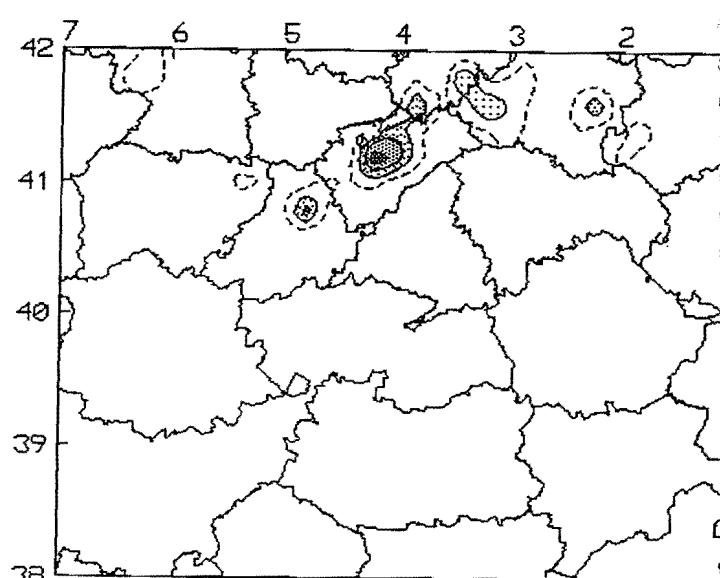


**Fig. 3b Dis. Normalizada de Neg. con SW sin el 18/Jun/93**

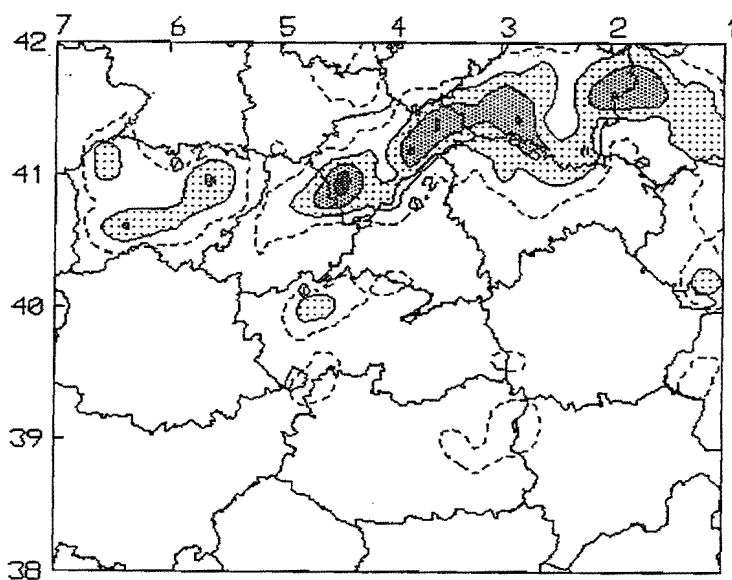
**Fig. 4 Distribución espacial de rayos negativos con flujo del SW en 700 mb, normalizado respecto al máximo de rejilla ( $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ ) en cada período horario. a) de 00-06 z. b) de 06-12 z. c) de 12-18 z y d) de 18-24 z.**



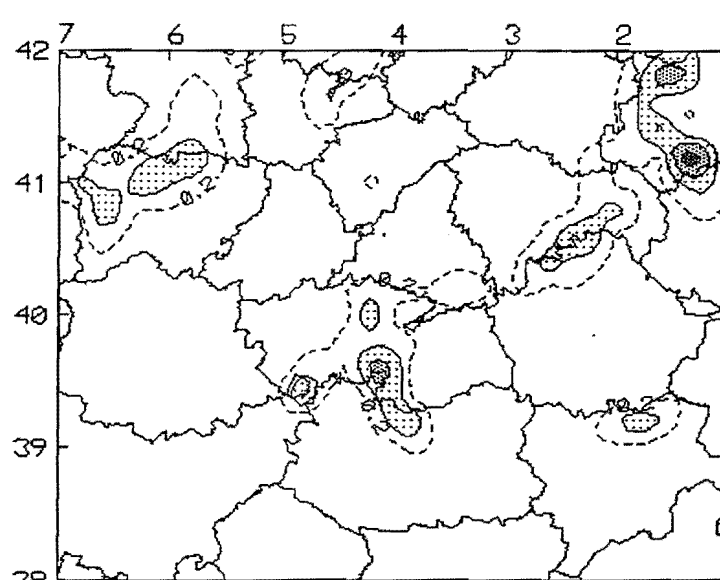
**Fig.4a Dis. Normalizada de Neg. entre 00-06 z**



**Fig. 4b Idem que caso anterior entre 06-12 z**



**Fig. 4c Idem caso anterior pero entre 12-18 z**



**Fig. 4d Idem caso anterior pero entre 18-24 z**

Es muy interesante analizar dichas distribuciones cuando se consideran períodos horarios de 6 en 6 horas. En las Fig 4 a,b,c y d se ha realizado el mismo proceso pero agrupando las tormentas en períodos de 6 horas: 00-06, 06-12, 12-18 y 18-24 z, respectivamente. En todas ellas se han eliminado el día 18 de Junio.

La Fig 4a (00-06 z) no es significativa ya que, en general, al haber pocos rayos en este período puede aparecer alguna estructura tormentosa muy activa, que genera estructuras del tipo "ojo de buey" (Norte de Cuenca) de escaso sentido meteorológico. Más llamativa es la Fig 4b (06-12 z) que nos muestra como **las primeras tormentas suelen aparecer en la Meseta Norte**, en una franja cuasiparalela al S. Central pero concentrándose en: Norte de Avila, Segovia y Soria. Además toda esta franja no esta ligada al eje de sus máximas cimas. En Soria se producen las primeras tormentas ligadas al Sistema Ibérico. Llama también la atención que las áreas próximas a las máximas alturas del Sistema Central, Picos de Gredos, no dan una señal en este período, ni en los restantes.

Entre las 12-18 z, Fig. 4c, el calentamiento diurno ya parece estar actuando de forma más generalizada en las zonas llanas. De esta forma aparecen rayos en casi toda Salamanca, parte de Guadalajara, Toledo y Madrid. Sigue apareciendo la franja orientada de WSW a ENE, desde el N de Avila hasta Segovia aunque sus máximos se han trasladado en dirección NE, como consecuencia del posible desplazamiento de las tormentas en dicha dirección y se han ajustado más a la línea de los picos más altos del S. Central. También aparecen nítidamente otra zona de máximos orientada de NW a SE en Aragón y asociada, posiblemente, a las sierras del Moncayo.

En la Fig 4d, el período comprendido entre las 18 y 24 z, nos refleja la desaparición de las tormentas de la franja asociada al S. Central y se siguen manteniendo algunas estructuras que se desarrollaron con anterioridad, pero desplazadas hacia el NE: casos de los núcleos de Aragón, las de la ribera del Tajo, y hacia el N a las que afectan a Salamanca que incluso llegan a penetrar por Zamora. Las primeras zonas en las que se desarrollaron las primeras tormentas (Avila-Segovia-Soria) ya no dan señal significativo pues los focos tormentosos o han desaparecido o se han desplazado con el flujo del SW a zonas aragonesas. Por contra la actividad sigue perdurando en zonas más llanas, tanto en la Meseta Norte como en la Sur.

#### *-c) Distribución espacial de los rayos positivos con flujo de SW.*

Como se indicó en la primera parte del trabajo, las tormentas de primavera-verano destacan por su gran cantidad de rayos negativos frente a los positivos, sólo en su fase de disipación parece aumentar levemente su número pero en una proporción muy reducida. Esto no quita que existan situaciones atmosféricas ( días específicos) o tormentas aisladas que puedan generar, relativamente, un número más elevado de positivos y ligados a los propios núcleos convectivos. Para entender las siguientes figuras hay que prestar especial atención a estos hechos y huir de estructuras concéntricas y reducidas.

En la Fig 5 podemos observar dicha distribución. En ella están marcados los días en los que se dio una inusitada actividad de positivos y que fueron los causantes de estas singularidades (3 y 4 de Agosto). Lo que sí llama la atención es que la Meseta Sur presenta una distribución, en principio, más acentuada que la Norte.

Separemos por períodos horarios. Entre 00-06 z, Fig 6a, aparece un núcleo muy concéntrico en la provincia de Guadalajara, posiblemente ligado a un día y por tanto carece de sentido su análisis. Algo parecido ocurre entre 06-12 z, Fig 6b.

En la Fig 6c, período 12-18 z , aparecen estructuras en la Meseta Sur ligadas a días concretos (Agosto) que están en concordancia con el desarrollo de la convección en zonas llanas cuando el calentamiento diurno es muy acusado y por tanto, son las señales de núcleos convectivos en su fase de madurez. También destacan la estructura del NE de Segovia que coincide con las zonas por donde se desplazan los núcleos convectivos, generados en las cercanías del Sistema Central. Algo parecido ocurre al SW de la provincia de Albacete.

En el último tramo horario, Fig 6d, aparecen las posibles zonas donde está teniendo lugar la disipación de las tormentas que se formaron en el anterior período y desplazadas hacia el NE, menos las de Salamanca y Zamora que parecen que lo hacen hacia el N.

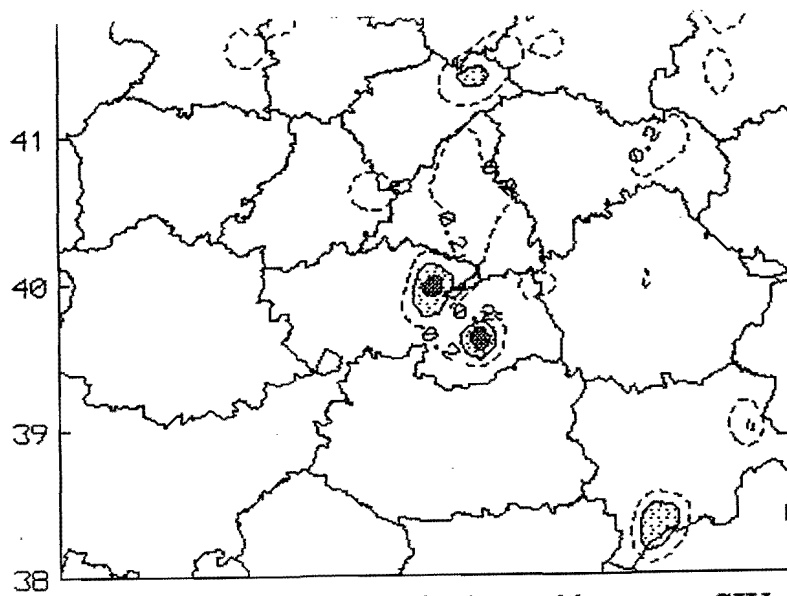


Fig. 5 Dis. Normalizada de positivos con SW

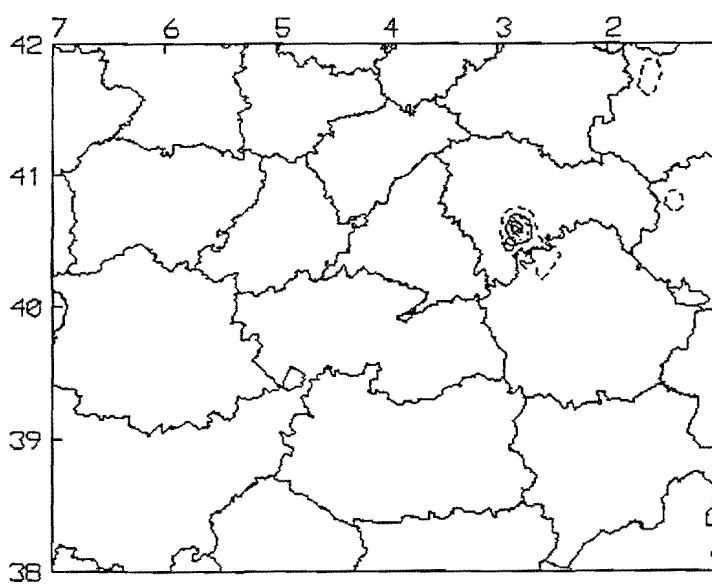


Fig. 6a Dis. Normalizada de Pos. 00-06 z

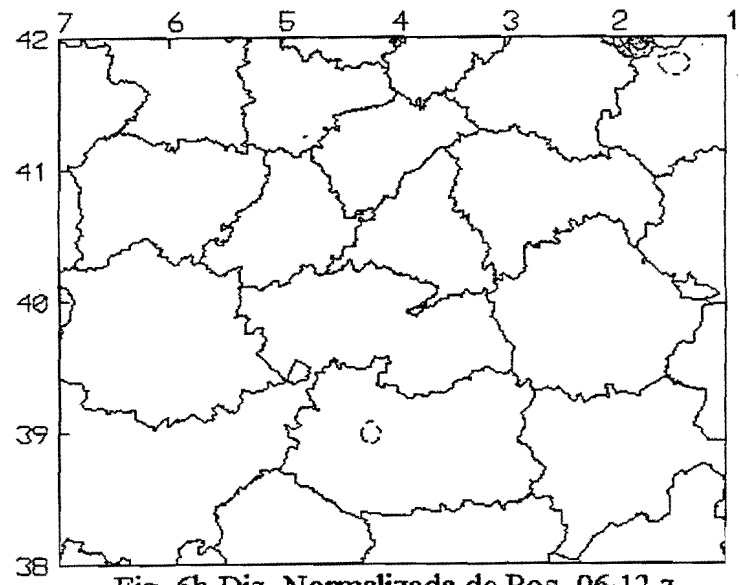


Fig. 6b Dis. Normalizada de Pos. 06-12 z

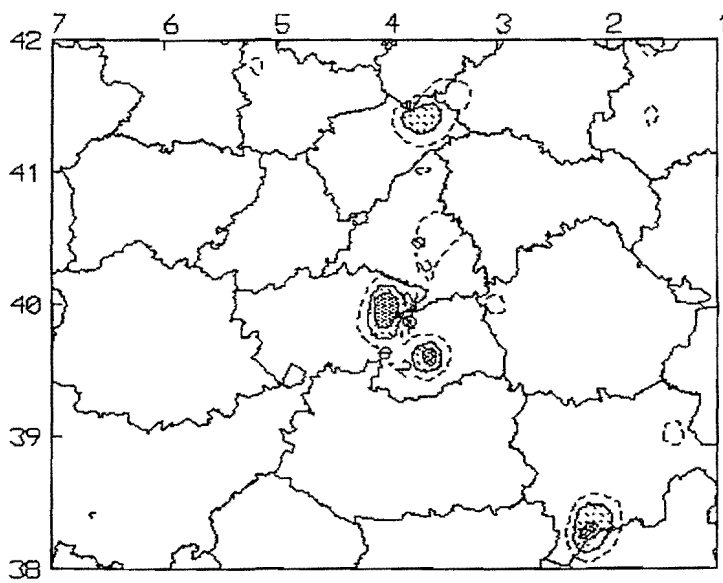


Fig. 6c Dis. Normalizada de Pos. 12-18 z

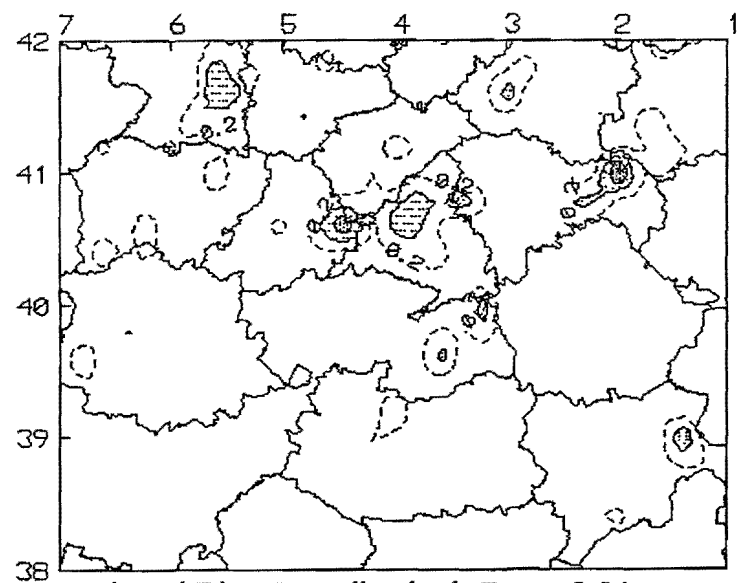


Fig. 6d Dis. Normalizada de Pos. 18-24 z

## **2.b Análisis de los resultados con flujos del SE.**

Solo se dieron 11 días con flujo del SE, casi la mitad de los de SW, generando en proporción más rayos negativos y positivos que estos últimos. Las distribuciones espaciales van a experimentar sensibles modificaciones. Antes que nada hay que hacer notar que las situaciones que llevan asociados un flujo del SE en niveles medios en el período estival, suelen condicionar la distribución espacial de la baja térmica peninsular (experiencia observacional), ya que el aire a su paso por las fuentes elevadas de calor de la península, pero esta vez en dirección SE-NW, reorienta la baja térmica hacia la parte occidental de la península. Este hecho se puede observar en la estructura térmica en 850 mb con una dorsal cálida orientada en dicha dirección. A veces existe una penetración húmeda en niveles bajos desde el Mediterráneo, acompañado de una entrada más seca sobre 700 mb, produciendo un aumento de la inestabilidad. Las bajas presiones relativas en superficie afectan más de lleno al sector occidental peninsular.

### *-a) Distribución espacial del número de días de tormentas.*

En estas situaciones, Fig 7, se produce una alteración muy marcada en cuanto a los máximos, mínimos y la distribución espacial de los días con tormentas respecto a las situaciones del SW. Así los máximos de las provincias de Zaragoza y Soria, que se generaban con flujos del SW, desaparecen por completo y aparecen unos nuevos en el lado más occidental de la región (Zamora y Salamanca) aunque siguen siendo las provincias de Segovia y S. de Burgos donde se alcanzan los máximos con 8 días. También desaparece la franja que discurre paralela al Sistema Central en su vertiente Norte (Ávila-Segovia-Soria) y aparecen otras tantas en dirección Sur-Norte: Segovia-Burgos, Valladolid-Zamora y Salamanca-Zamora.

La Meseta Sur sigue dando una estructura menos uniforme que la Norte y se adivinan dos zonas de máximos relativos: la asociada al Tajo y que afecta a las provincias de Toledo y Madrid, y por otra parte la del S. Ibérico con un conjunto de máximos que, esta vez, arrancan desde Murcia (Portillo de Murcia-Albacete generado por los ríos Segura y su afluente, el Mundo) y pasan por el sector occidental de las provincias de Cuenca y Guadalajara (otro hecho notorio que contrasta con los SW, que lo genera más en su parte oriental).

El número de días en la región extremeña han aumentado, en proporción, no sólo en sus partes altas sino en sus zonas bajas; así se llegan a alcanzar los 4 días en las tierras llanas del interior de Badajoz, donde se daba 1 día con los SW.

### *-b) Distribución espacial de los rayos negativos.*

De nuevo debemos buscar estructuras generales con sentido meteorológico y ser precavidos al detectar y analizar estructuras concéntricas y puntuales, en zonas donde el número de días con tormentas sea bajo.

Lo primero que llama la atención, al analizar la distribución general en 24 horas, Fig 8, es la orientación de las estructuras en una dirección SSE-NNW. Sólo el Sistema Ibérico ofrece una señal ligada a la orientación de las cadenas montañosas, pero en su vertiente más occi-



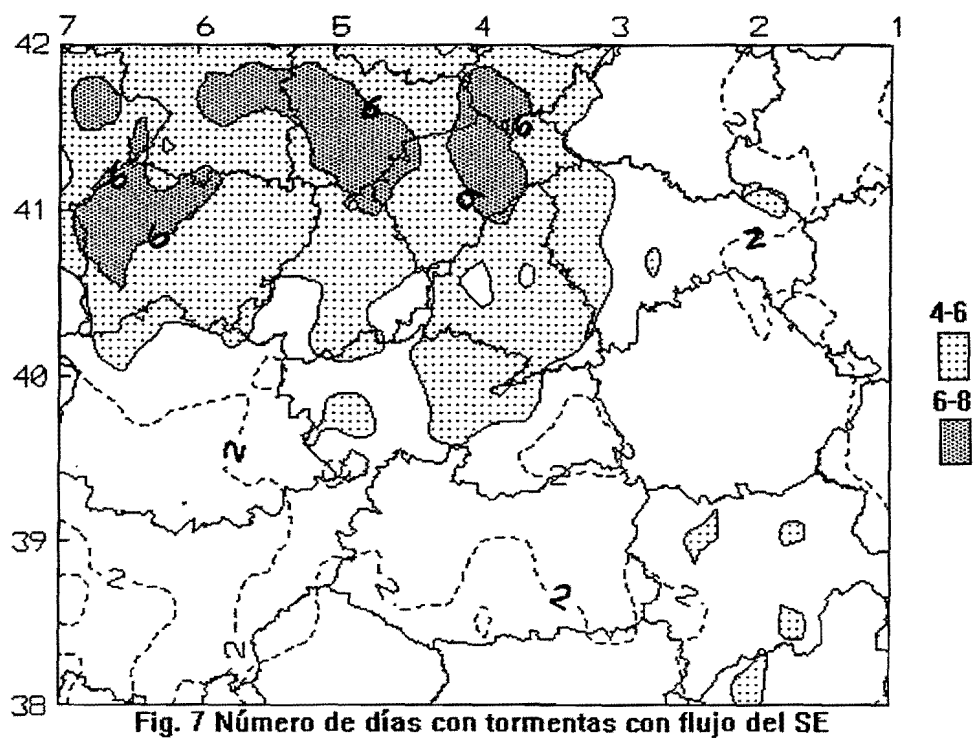


Fig. 7 Número de días con tormentas con flujo del SE

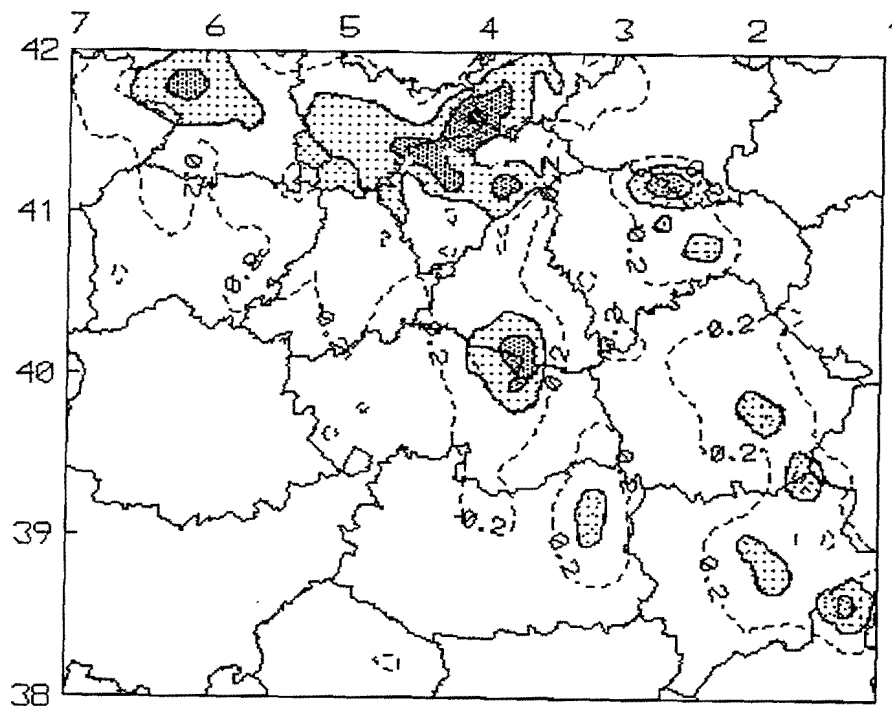


Fig. 8 Dis. Normalizada de Neg. con Flujo del SE

dental; por contra han desaparecido las zonas de máximos del Moncayo y S. de la Virgen, situada en la alineación más oriental del Sistema Ibérico.

El resto está ligado a estructuras que se encuentran situadas en zonas llanas preferentemente en la Meseta Norte.

Al analizar las estructuras, en intervalos de 6 horas, nos encontramos con ciertos elementos comunes que obtuvimos en el apartado de SW pero matizados. Entre 00-06 z, Fig 9a, no podemos sacar conclusiones significativas.

Entre 06-12 z, Fig 9b, comienzan a concentrarse los rayos en las zonas llanas de la Meseta Norte (Valladolid y Burgos), a diferencia de los SW que lo hacía en la franja norte del S. Central. Por contra entre las 12-18 z, Fig 9c, existe una extensión en las zonas afectadas por los rayos:

- Aparecen nuevas regiones en las zonas llanas de la Meseta superior (Segovia, Zamora y Salamanca) y se mantienen las de Valladolid y Burgos. Lo mismo ocurre en las zonas llanas de la Meseta Sur (Madrid y Toledo).

- Comienzan a dispararse las áreas montañosas del Ibérico, desde el Norte de Murcia hasta Guadalajara, en su vertiente más occidental y en otros puntos de la Sierra de Guadarrama, tanto en su vertiente norte (Segovia) y sur (Madrid).

Entre las 18-24 z, Fig 9 d, la distribución no es muy significativa pues está modulada por el núcleo compacto del Norte de Guadalajara, aunque de cualquier forma se ven los restos de las distribuciones de rayos de las horas anteriores.

#### *-c) Distribución espacial de los rayos positivos.*

Al igual que los flujos del SW, la distribución de rayos positivos está tremendamente modulada por ciertas estructuras tormentosas muy puntuales que se detectaron en días muy determinados, dando lugar a distribuciones espaciales muy concéntricas y localizadas, preferentemente en la Meseta Sur. La eliminación de dichos días (al igual que el 18 de Junio para los SW) nos llevaría a trabajar con un conjunto de datos muy reducidos y poco significativos. De cualquier forma en las figuras Fig 10, Fig 11 a, b, c y d aparecen los resultados de las distribuciones espaciales en 24 horas y en períodos de 6 horas, respectivamente.

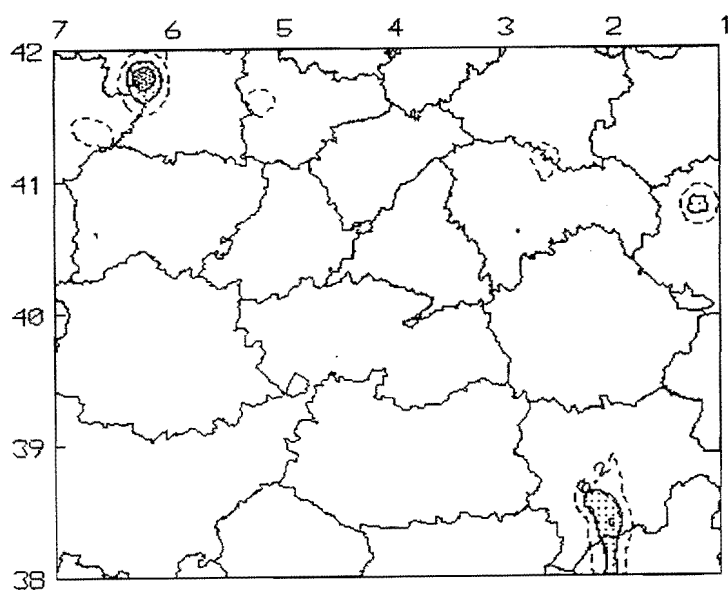


Fig. 9a Dis. Normalizada de Neg. 00-06Z

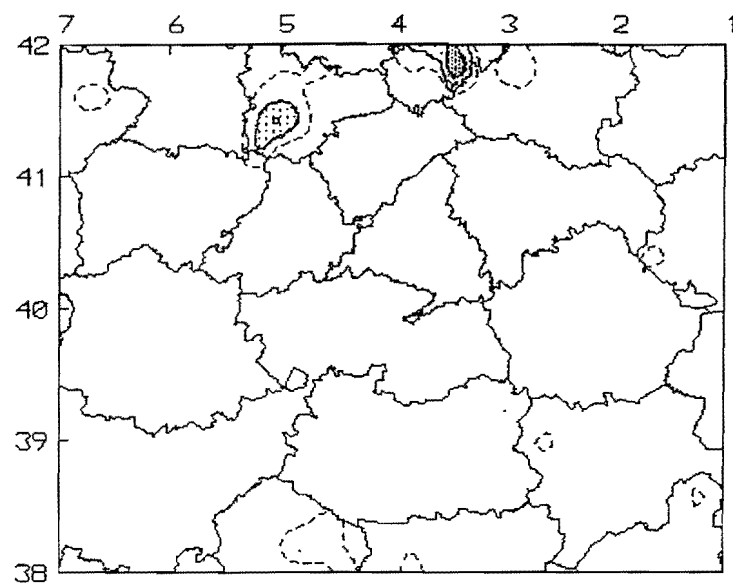


Fig. 9b Dis. Normalizada de Neg. 06-12Z

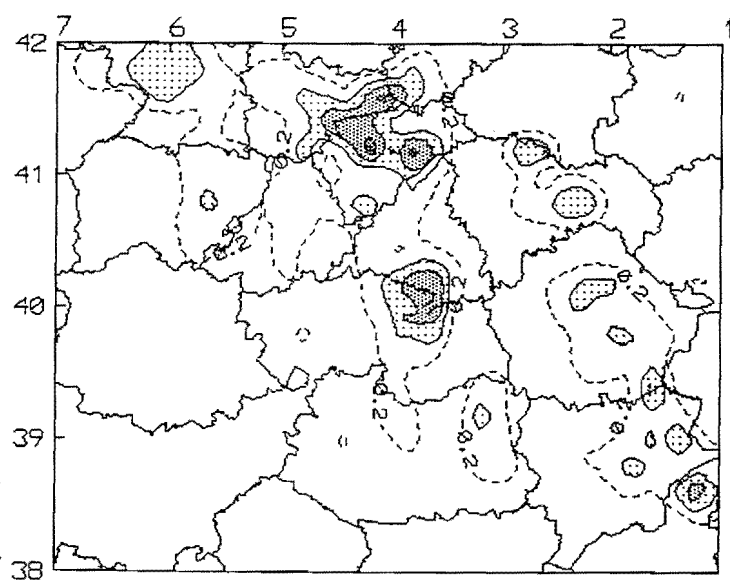


Fig. 9c Dis. Normalizada de Neg. 12-18 z

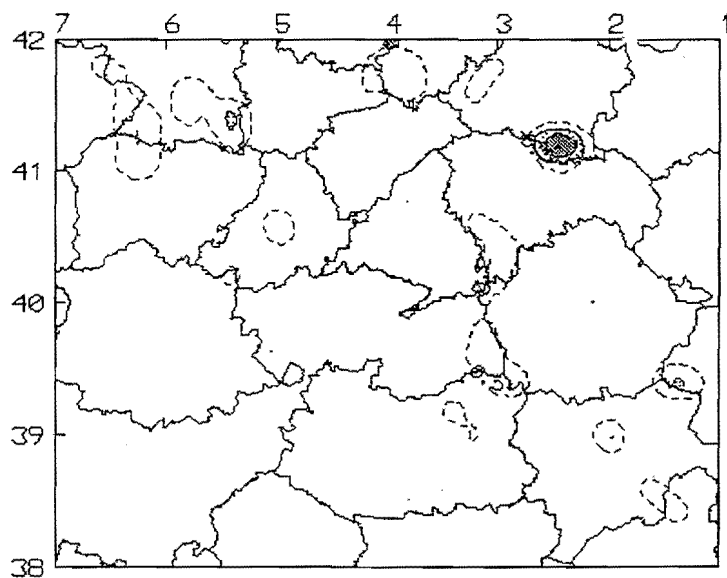


Fig. 9d Dis. Normalizada de Neg. 18-24 z

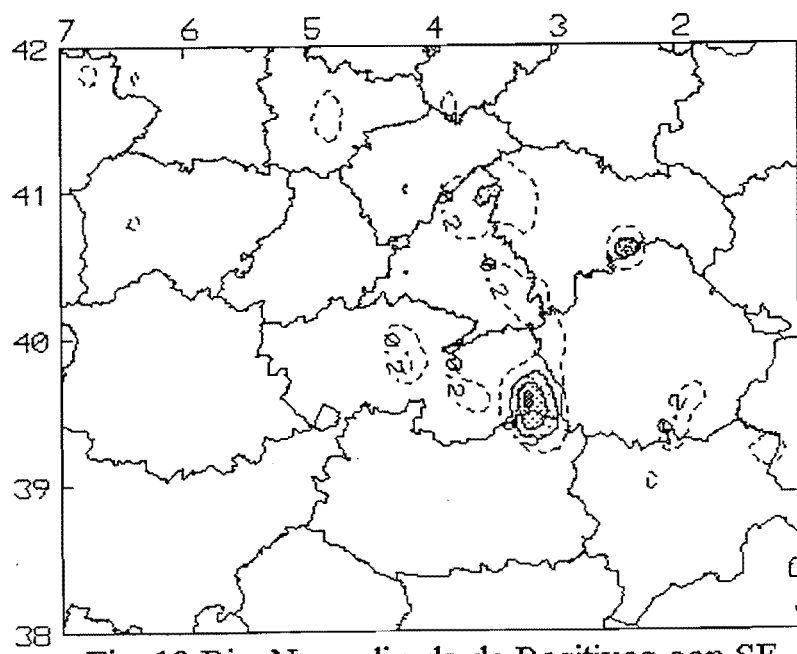


Fig. 10 Dis. Normalizada de Positivos con SE

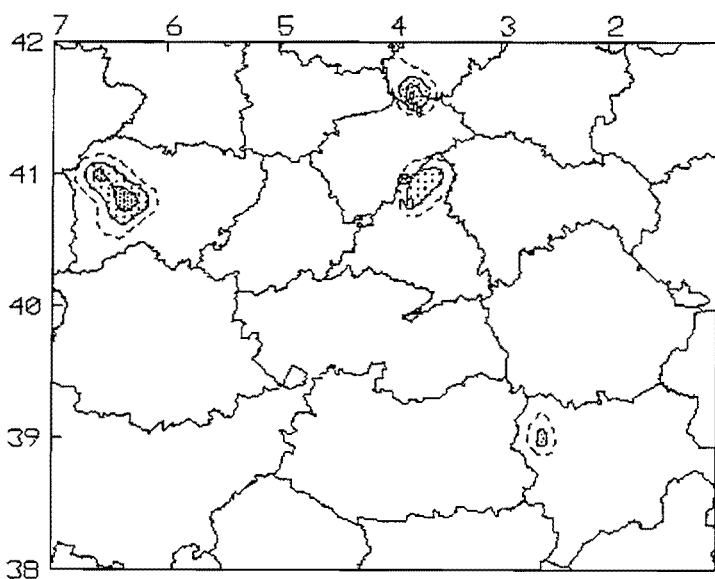


Fig. 11a Dis. Normalizada de Pos. 00-06 z

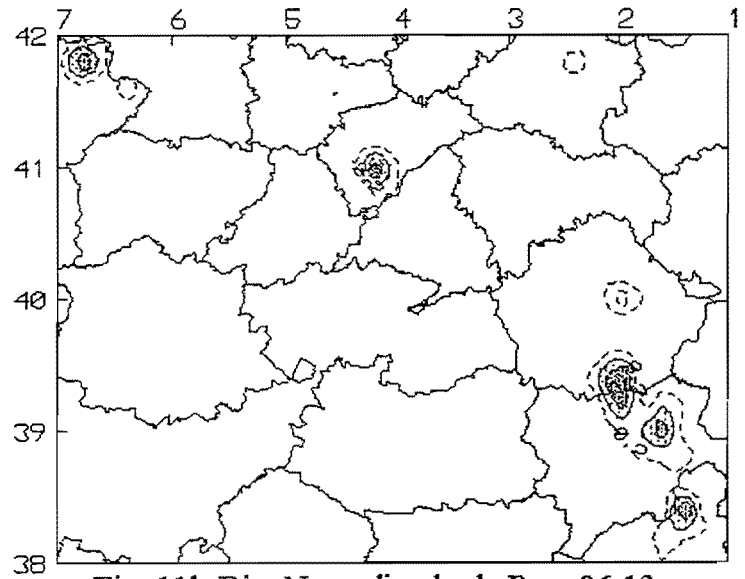


Fig. 11b Dis. Normalizada de Pos. 06-12 z

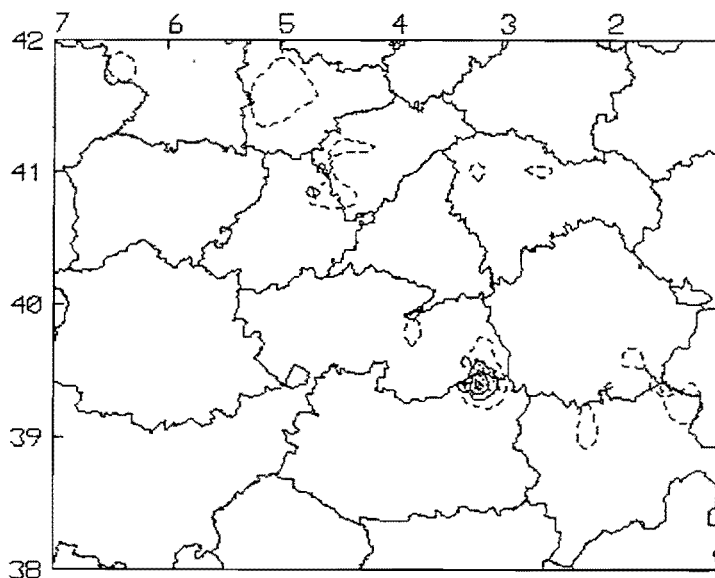


Fig. 11c Dis. Normalizada de Pos. 12-18 z

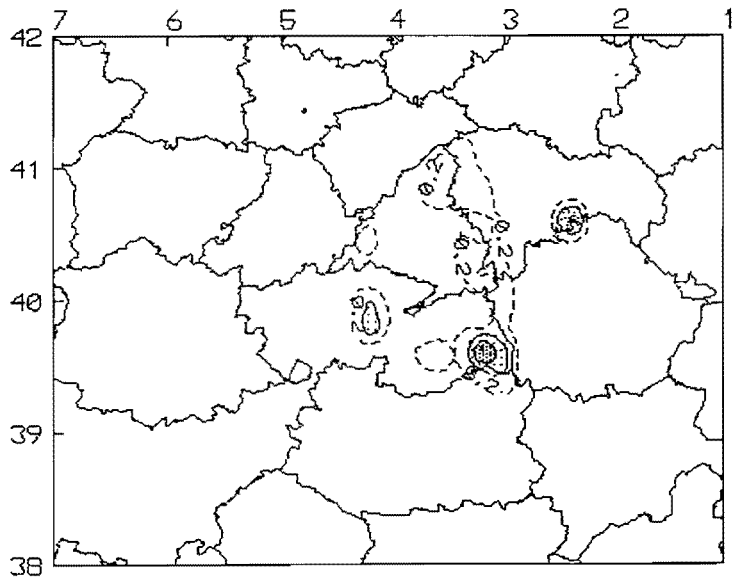


Fig. 11d Dis. Normalizada de Pos. 18-24 z

### **-Conclusiones de los apartados correspondientes a los tipos de flujo en 700 mb.**

Independientemente del papel que desempeñe el calentamiento diurno y los accidentes geográficos naturales (montañas, sierras, mesetas elevadas, ríos, etc.) y artificiales (embalses, pantanos, etc) en la generación de circulaciones mesoescalares que focalicen la actividad tormentosa, parece que el papel del flujo en niveles medios ( aquí se tomó como referencia el de 700 mb a las 12 z suministrado por el sondeo de Madrid) es importante a la hora de modular, focalizar y trasladar los focos tormentosos hacia ciertas zonas o rutas específicas. Algunos resultados, apuntados con anterioridad, se pueden resumir en:

-Las situaciones que suelen dar más días con focos tormentosos son las asociadas a flujos en 700 mb del SW y SE, y en mucha menor medida los asociados a otros sectores. De cualquier forma este no es el único factor determinante de la convección.

-En proporción, y para este año, las situaciones del SE suelen dar más rayos que las del SW.

-Respecto a los días con tormentas parece que las zonas de máximos y mínimos están fuertemente moduladas por los tipos de flujos:

#### **@ Situación de los máximos y mínimos y días con tormentas.**

\*Con SW los máximos absolutos se encuentran en el vértice NE de la ventana de estudio (Soria y Zaragoza), ligados al Sistema Ibérico y los mínimos absolutos en el SW de la provincia de Badajoz.

\*Con los SE, esta orientación se ve alterada ya que los mínimos aparecen en las zonas donde existían los máximos (Soria y Zaragoza) y existe un aumento en las zonas llanas más occidentales de la Meseta Norte (Zamora y Salamanca). Aunque en menor proporción, los días con tormentas en Extremadura aumentan con los SE.

#### **@Zonas llanas y próximas a las montañas.**

\*La Meseta Norte se suele disparar antes que la Meseta Sur, pero mientras con los SE se disparan primero las zonas llanas del interior, con los SW lo hacen las que se generan en la franja paralela al S. Central y que arranca desde el N. de Avila, recorre Segovia hasta penetrar por Soria y reorientarse en dirección E.

\*Esta franja, y con SW, tiende a dar sus primeras tormentas entre 06-12Z (posiblemente a últimas horas del período) y algo alejadas de la alineación que sigue los picos más altos. En el siguiente período, 12-18 z, parece como si las tormentas se acercaran hacia las zonas más elevadas.

\*Las zonas altas de Gredos han dado un número reducido de días con tormentas, así como en el número de rayos para ambos tipos de flujos.

\*Las que se forman en el Sistema Ibérico se disparan con ambos tipos de flujos, preferentemente entre las 12-18 z. Con situaciones del SW las máximas concentraciones se dan en su sector más nororiental (zonas elevadas de Zaragoza y Soria); por contra con los SE aparece una orientación según el eje de sus sierras más occidentales (Guadalajara-Cuenca-Albacete).

\*Como se indico con anterioridad, Extremadura parece tener más días de tormentas con SE que con SW.

Como complemento a estas conclusiones, se ha representado la media de los máximos en cada punto de rejilla, para cada día y en los intervalos de 6 horas, tanto para los flujos del SW como del SE, Fig 12.

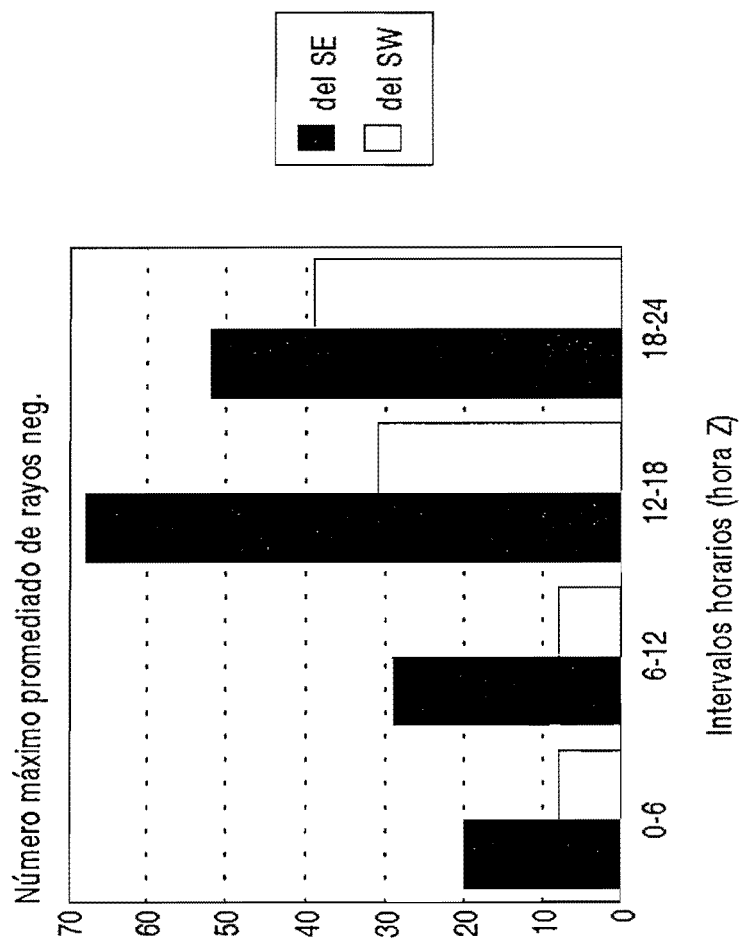
En la Fig 12a observamos el diferente comportamiento de la evolución de los negativos. Siempre es mayor la media del número de rayos negativos con SE que con SW. Además para los SE, el máximo se encuentra en el período horario comprendido entre 12-18, máximo calentamiento diurno, por contra con SW se sitúa en el último período, aunque este máximo es menos acusado que con SE .

En la Fig 12b tenemos la distribución temporal de los positivos. La proporción respecto a los negativos es de 1:10, con diferencias poco marcadas entre los máximos con SW y SE. Tan solo destacar la posible tendencia con SE, a generar más rayos positivos en el último período. mientras que con SW lo hace entre 12-18.

Estos mismos resultados se obtienen si se toman sólo los máximos de todas las retículas, sin promediar.

a)

Valor medio de los máximos de rejillas diarios  
para los rayos negativos según el Flujo en 700 mb



b)

Valor medio de los máximos de rejillas diarios  
para los rayos positivos según el Flujo en 700 mb

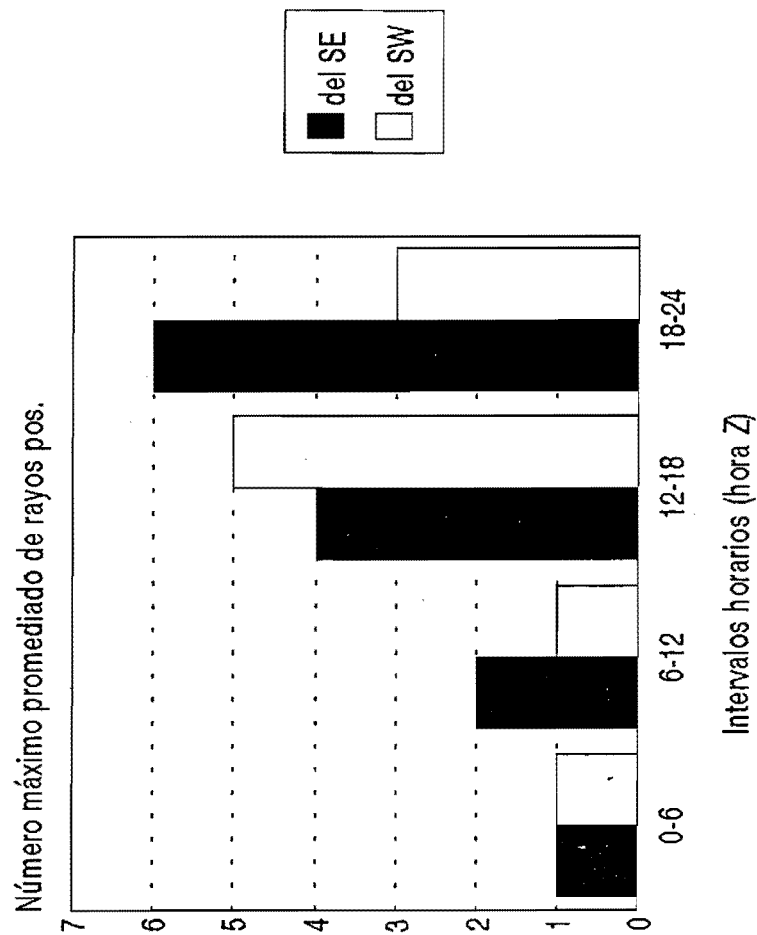


Fig. 12

### **3. DISTRIBUCION ESPACIAL DE LOS RAYOS EN FUNCION DEL TIPO DE FORZAMIENTO: con Forzamiento Sinóptico (FS) y sin forzamiento sinóptico o tormentas de Masa de Aire (MA).**

Los días con tormentas fueron separados en dos grupos según el criterio de si existía o no algún tipo de forzamiento sinóptico a las 00 z ó 12 z. Aunque se trató de objetivizar el forzamiento sinóptico, mediante una serie de campos derivados que dieran cuenta de él (Advección de vorticidad y DivQ en diferentes niveles) en la ventana de trabajo, pronto se llegó a la conclusión de que no resultaba muy operativo al atribuir un valor promediado de dichos campos sobre Barajas, lugar del sondeo y referencia, como representativo de toda la zona. Así, y por ejemplo, una vaguada móvil que se acercara por el Oeste, generaba un núcleo de advección de vorticidad positivo en 500 mb por la parte occidental de la región y otro negativo (en general) en el sector más oriental, pero al promediar los valores se podía ver reducido. Otras veces los valores eran tan débiles, de uno u otro signo, que el valor promediado salía 0. Al final se optó por una opción que tuviera en cuenta el aspecto objetivo y el subjetivo, para casos como los anteriores. Como la mayoría de las tormentas se generaban más cercanas a las 12 z que a las 0 z, se tomó el análisis objetivo del LAM del mediodía como referencia.

El día 18 de Junio pertenecía, con estos criterios, al grupo de tormentas de MA. Por sus especiales características fue eliminado de la muestra.

#### **3.a Distribución espacial para días con tormentas de Masa de Aire (MA o sin forzamiento sinóptico).**

##### *-Distribución espacial del número de días con tormentas .*

Como era de esperar las influencias topográficas, y las posibles circulaciones de mesoescala que se pueden generar, son las que van a regir la distribución espacial del número de días, distribución de las zonas de rayos, etc. Se van a repetir, en gran medida, los resultados obtenidos en la PARTE I, Fig 13, ya que en la mayoría de los casos las tormentas fueron de MA.

Destacar brevemente, y a la vista de la figura :

\*Meseta Norte.

-Existe un mayor número de días de tormentas que en la Meseta Sur y más uniformemente repartidas.

-Regueros de máximos de días que siguen dos "rutas" o ejes muy bien definidos: una ligada al Duero, D, que arranca desde el Sur de Zamora, pasa por Valladolid y Burgos y penetra por la provincia de Soria. La otra tiene su mayor exponente en la vertiente norte y central del Sistema que lleva su nombre. SC, arrancando desde el ENE de Avila y recorriendo toda Segovia para unirse en su borde más oriental a la ruta del Duero.

-Una zona de mínimos sobre las riscos más elevados de Gredos, allí donde el S. Central alcanza sus mayores alturas.



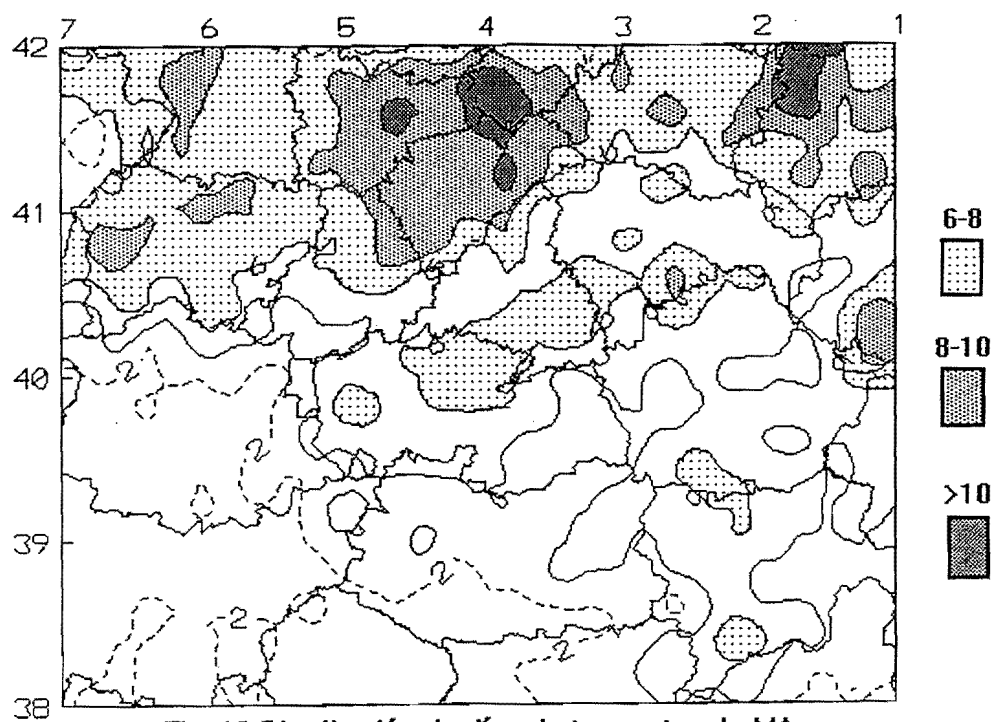


Fig. 13 Distribución de días de tormentas de MA

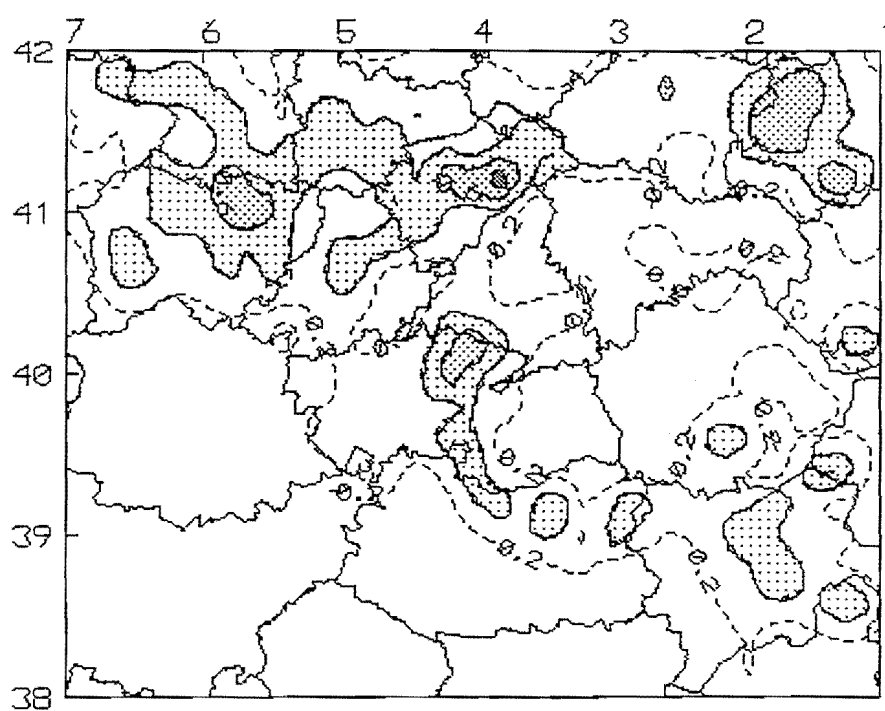
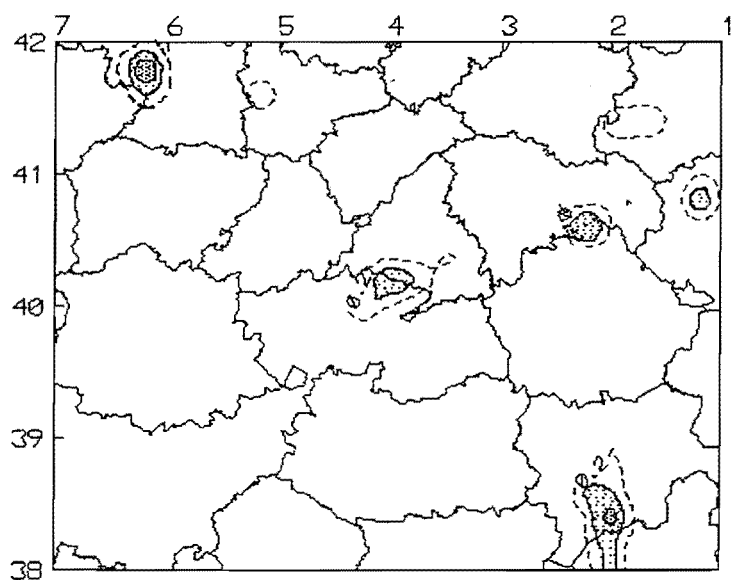
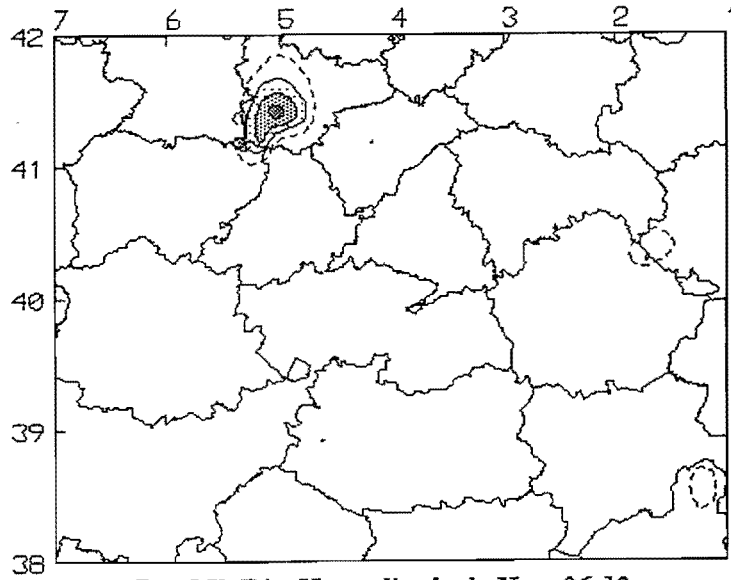


Fig. 14 Dis. Normalizada de Neg. de MA.

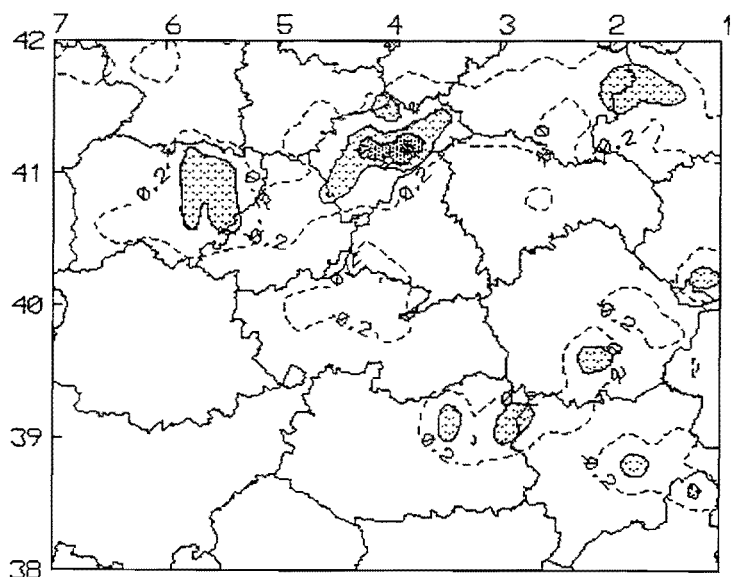
**Fig. 15 Distribución espacial de rayos negativos para tormentas de Masa de Aire, normalizado respecto al máximo de rejilla ( $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ ) en cada período horario. a) de 00-06 z. b) de 06-12 z. c) de 12-18 z y d) de 18-24 z.**



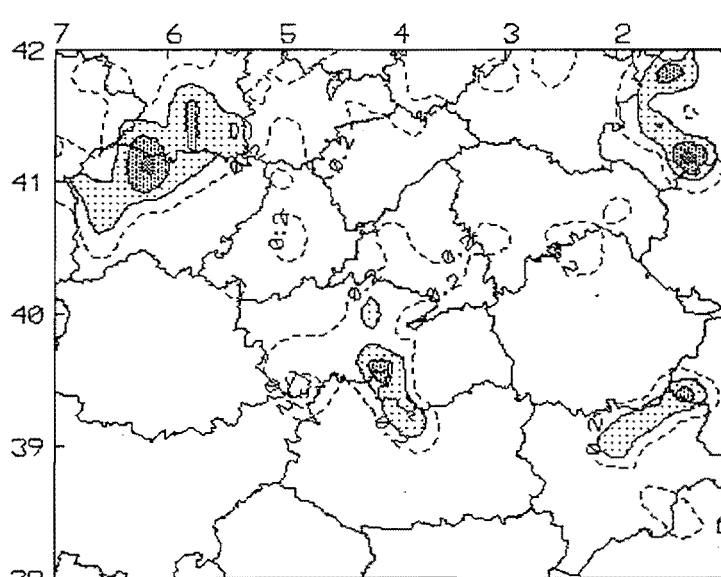
**Fig. 15a Dis. Normalizada de Neg. 00-06 z**



**Fig. 15b Dis. Normalizada de Neg. 06-12 z**



**Fig. 15c Dis. Normalizada de Neg. 12-18 z**



**Fig. 15d Dis. Normalizada de Neg. 18-24 z**

-En las zonas del Norte y Oeste de la provincia de Salamanca, aparecen unos máximos relativos.

**\*Meseta Sur.**

-El eje asociado al río Tago, **T**, que parte desde el W de la provincia de Toledo, penetrando por el Sur de la de Madrid y buscando las cuencas de sus afluentes, que arrancan desde las Sierras de Guadalajara.

-El posible eje del río Guadiana, **G**, no está tan bien definido, pero existen máximos en las zonas más húmedas del río: Embalses del Cijara al NE de Badajoz y Lagunas de Ruidera al NE de C. Real

-El S. Ibérico ofrece una doble señal: la primera se sitúa, y recorre de forma discontinua, en las provincias manchegas más orientales pero la más destacable se encuentra en su sector más nororiental, **SI2**, que va desde la Sierra del Moncayo, en Zaragoza, hasta la de Javalambre en Teruel donde se dan los máximos absolutos. En el primer sector, **SI1**, destacan las singularidades de las zonas asociadas a los embalses de Entrepeñas y Buendía, en la Serranía de Cuenca, y algunos tramos de las riberas del Júcar al Sur de Cuenca y Norte de Albacete.

-La señal del Sistema Penibético se asoma al SW de la provincia de Albacete, generando unos máximos relativos las Sierras de Alcaraz y Calar del Mundo, que se prolongan desde la provincia de Jaén.

-Ni los Montes de Toledo ni Sierra Morena llegan a dar una señal destacable para este tipo de tormentas, y para este año en concreto.

Un máximo aislado queda al N. de la provincia de Madrid, justamente en la vertiente meridional de la S. de Guadarrama.

**\*Extremadura.** Es la región que presenta menos días con actividad tormentosa pero de cualquier forma caben distinguir tres zonas:

-La zona del Embalse de García de Sola y Cijara, al NE de la provincia de Badajoz, pertenecientes al río Guadiana y formando parte del eje del mismo nombre, aunque muy difuminado.

-La zona del embalse de Valdecañas, al W de la provincia de Cáceres y perteneciente a la ruta del Tago.

-La zona montañosa de Cáceres que se ve afectada por las sierras de Gata y últimas estribaciones de Gredos (La Vera y Valle del Jerte), donde se dan los máximos relativos de la región extremeña.

***-Distribución espacial de los rayos negativos (sin el día 18)***

La distribución espacial de los rayos negativos, Fig 14, está modulada por los accidentes orográficos. En la distribución total destacar los máximos que se producen en el eje norte del S. Central desde el centro de Avila y que pasa por toda Segovia, donde se alcanza el máximo absoluto. Esta provincia posee un gran número de días de tormentas de masa de aire y de rayos. Otra zona equivalente, es la asociada al S. Ibérico pero en su sector más nororiental: S. del Moncayo, Albarracín y Javalambre. Las sierras hermanas de la Meseta Sur generaron

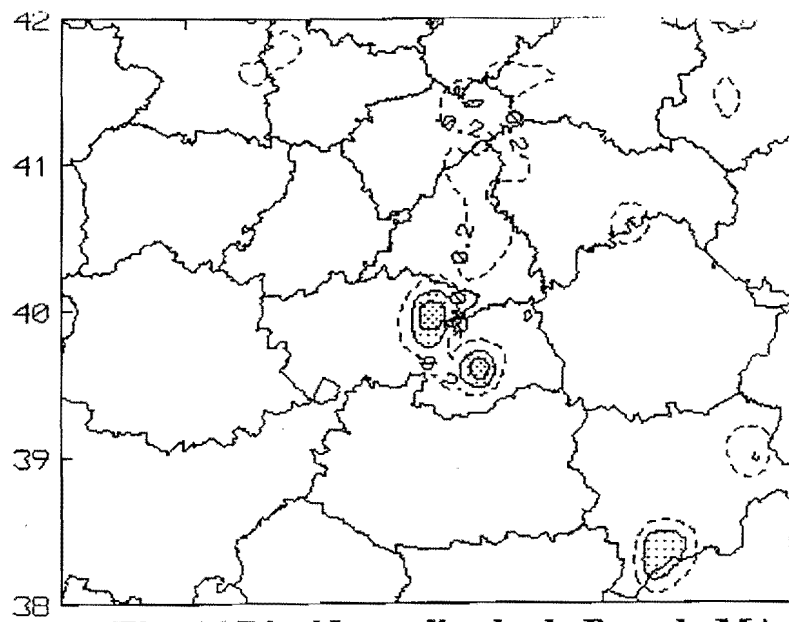
menos rayos que las antecesoras. Destacar de nuevo la mayor uniformidad en la distribución de la Meseta Norte que la Sur. Otro hecho notorio es que las zonas llanas de Valladolid y Burgos, donde existían gran cantidad de días con tormentas, no destacan en cuanto a la generación de gran cantidad de rayos. Cabría pensar que las zonas montañosas son más eficientes a la hora de "producir" o generar rayos, incluso en el caso en que el número de días en que se ven afectadas es menor o igual que las zonas llanas de la Meseta Norte.

Cuando se analiza la distribución por intervalos horarios podemos observar que entre 00 y 06 z, Fig 15.a, aparecen núcleos muy compactos y aislados, tanto en zonas llanas y como de montaña, algo dispersos. Entre las 06 y 12 z, Fig 15.b, la provincia de Valladolid se lleva el mayor peso en la concentración de rayos, pero posiblemente ligado a algún día en particular. No es hasta después del medio día cuando se detectan un aumento súbito y extenso de descargas, especialmente las asociadas a los accidentes orográficos. Destaca el eje norte del S. Central, donde se alcanza los máximos en la provincia de Segovia, y el menor medida el asociado al S. Ibérico que se llega a unir en la provincia de Soria. Posteriormente, Fig 15.d y entre 18-24 z, decaen en su número los ligados a las zonas de montaña y comienzan a dar y ganar señal los asociados a terrenos más llanos que comenzaban a aparecer en las 6 horas anteriores: eje del Duero y NW de Salamanca, en la Meseta Norte y en menor medida las del Tajo. Hay que destacar que solo las porciones del S. Ibérico aragonés y puntos aislados en Albacete siguen dando una señal significativa asociadas a las horas precedentes.

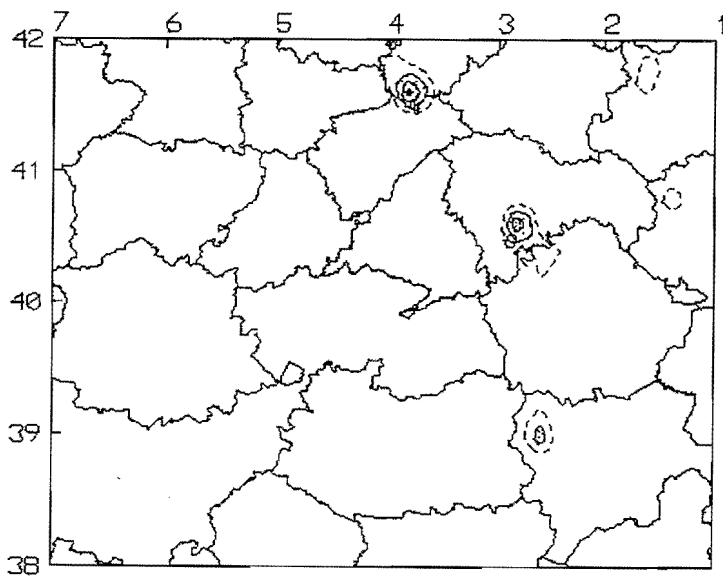
Una consecuencia importante, independiente del influjo del calentamiento diurno y para la tormentas de MA, es el posible papel que desempeñan las circulaciones mesoescalares meseta-montaña, mucho más efectivas las generadas entre la Meseta Norte-Sistema Central que el resto de las zonas. Posteriormente, y asociadas a otro tipo de circulaciones, aparecen las que posiblemente se generan entorno a las riberas de los grandes ríos y embalses, que actuarían como fuente de humedad en las zonas mesetarias fuertemente recalentadas por la tarde. Estas últimas tienden a perdurar hasta después del ocaso; por contra las de carácter orográfico tienden a desaparecer antes que el sol se oculte.

#### *-Distribución espacial de los positivos.*

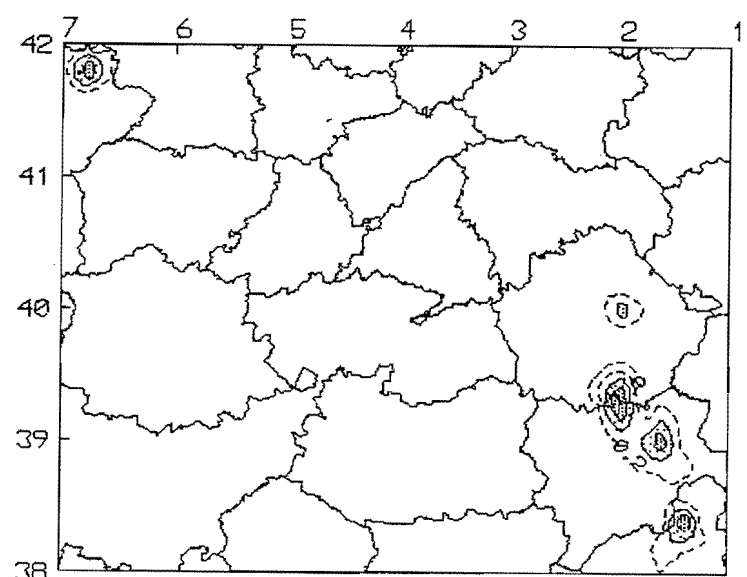
La distribución de positivos, Fig 16, va a estar influenciada por las situaciones con tormentas, que acopladas con el ciclo diurno, produjeron **localmente gran cantidad de rayos de dicho signo**. Esto es lo que ocurre cuando se observa la distribución total en 24 horas: existieron algunos días que generaron estructuras muy activas que incluso, en dichos momentos, iban acompañadas de muchos rayos positivos, hecho que ocurre en la provincia de Toledo y SW de Albacete. Observemos que estos máximos se encuentran en la Meseta Sur (máximos de negativos en la Norte) y que ocurren en el período entre 12 y 18 coincidiendo con lo comentado anteriormente. Existe otra zona, ligada a los máximos de rayos negativos de tipo orográfico, en la provincia de Segovia. En la Fig 17 a, b, c y d se recogen las salidas gráficas en períodos de 6 horas.



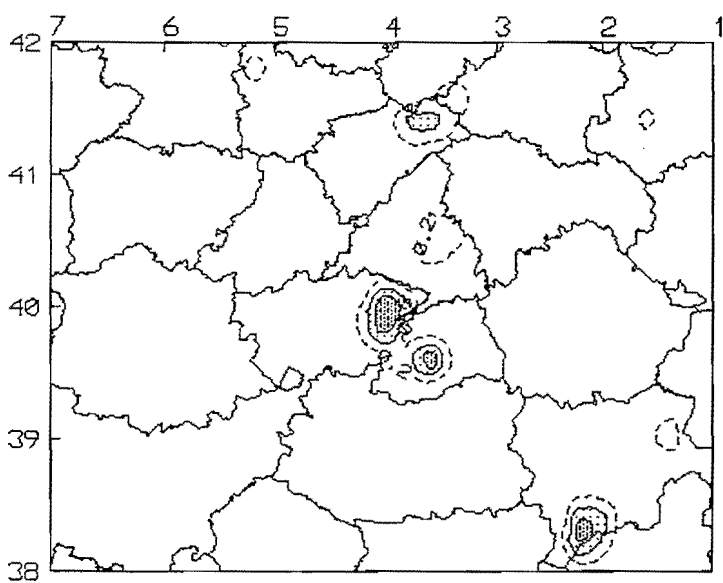
**Fig. 16 Dis. Normalizada de Pos. de MA**



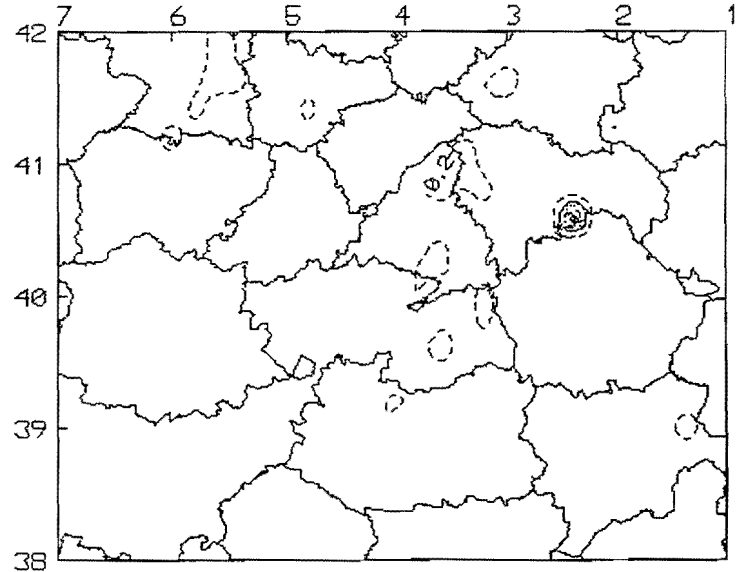
**Fig. 17a Dis. Normalizada de Pos. 00-06 z**



**Fig. 17b Dis. Normalizada de Pos. 06-12 z**



**Fig. 17c Dis. Normalizada de Pos. 12-18 z**



**Fig. 17d Dis. Normalizada de Pos. 18-24 z**

### 3.b. Distribución espacial para días con tormentas de Forzamiento Sinóptico (FS).

El número de días en que existió forzamiento sinóptico y se produjeron tormentas es menor que en el caso anterior, por lo que los **resultados** serán **más provisionales** que los alcanzados en el apartado precedente y además serán comentados con mayor brevedad .

#### *-Distribución del número de días de tormentas.*

Llama la atención, Fig 18, la mayor **uniformidad** de esta distribución si la comparamos con las de días de MA, tanto en la Meseta Norte como en la Sur. Este hecho ya es en sí importante pues las tormentas no están tan fuertemente moduladas por los accidentes locales del terreno, ya que aparece la componente sinóptica que actúa de forma más general. La zona de máximos se encuentra en las confluencias del Sistema Ibérico con la del Sistema Central y en general hay más días en la zona septentrional que en la meridional. Otro hecho notable es que en la Meseta Sur existe una tendencia a darse más días con tormentas en su parte central y noroccidental, destacando los 4-5 días de la provincia de Cáceres

#### *-Distribución espacial de los rayos negativos y los rayos positivos.*

Cuando se trata de examinar los pocos días en los que se dieron estas situaciones cabría esperar que el forzamiento sinóptico diera lugar a estructuras que aparecieran desde primeras a últimas horas del día, moduladas en parte por el ciclo diurno, pero además sería posible encontrar situaciones en donde algunas tormentas fueran muy activas y generaran gran cantidad de rayos produciendo estructuras muy concentradas y aisladas, en cualquier zona del área de estudio.

Cuando se estudian las distribuciones espaciales en 24 horas, Fig 19, observamos que gran parte de las concentraciones se dan **en las zonas llanas de** las Mesetas Norte y Sur, y preferentemente en la zona central de ambas regiones. Para los positivos, Fig 21, las máximas concentraciones se producen en la Meseta Sur y en particular en la provincia de Toledo.

Cuando se estudia la evolución por intervalos horarios, Fig 20 a, b, c y d, para los negativos y Fig 22 a, b, c y d para los positivos, podemos observar el papel que ejerce el calentamiento diurno, y es entre las 12 y 18 z cuando comienzan a aparecer estructuras amplias, lejos de las ya mencionadas de tipo concéntricas, en todas las zonas pero preferentemente no ligadas a la orografía del terreno, tanto en el caso de los negativos como de los positivos.

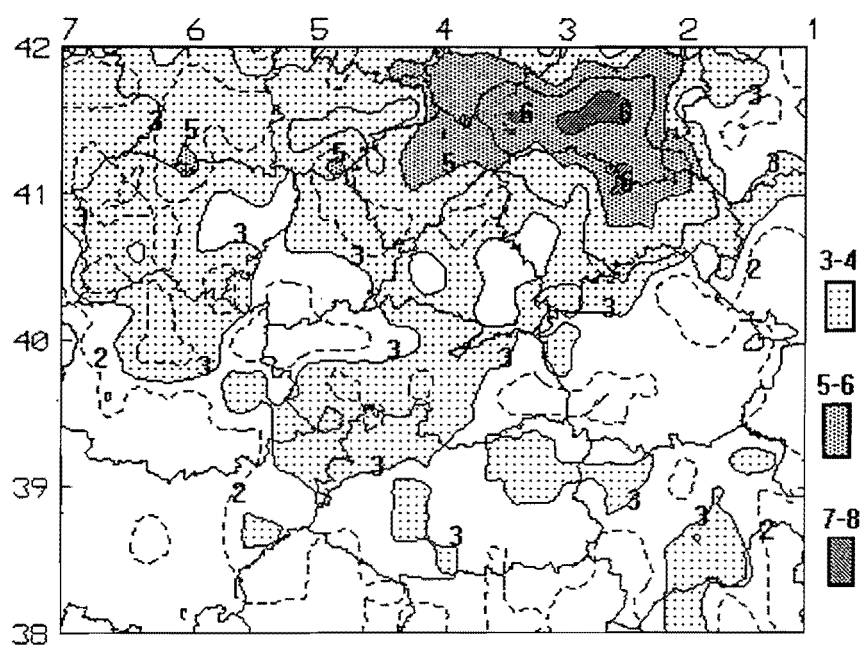


Fig. 18 Número de días con tormentas de FS

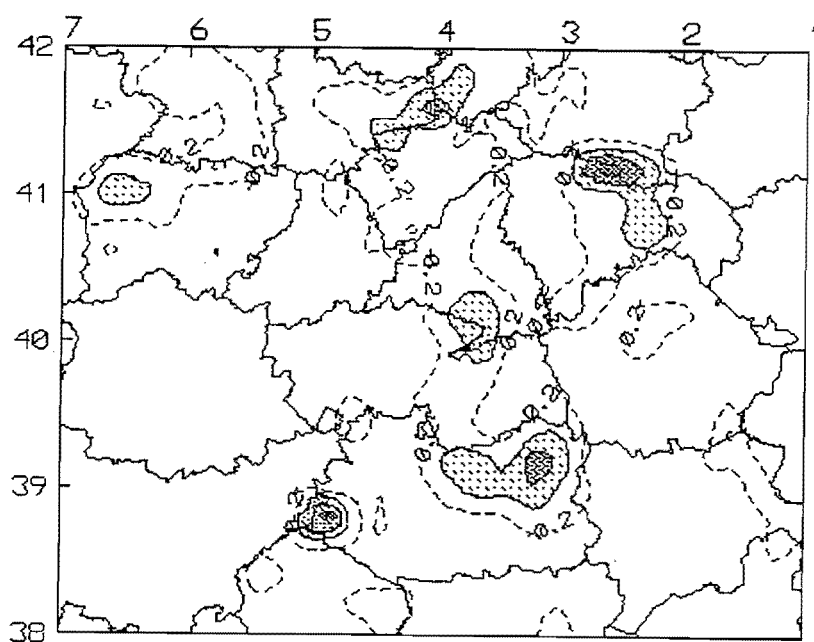
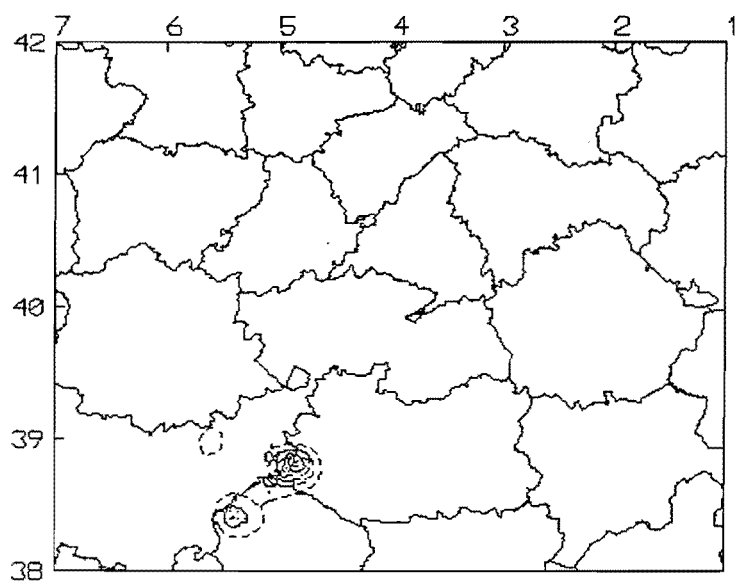
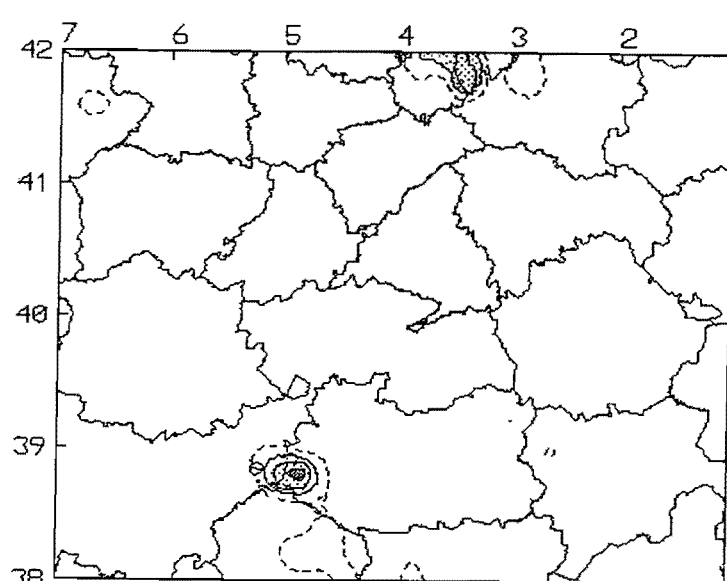


Fig. 19 Dis. Normalizada de Neg. con FS

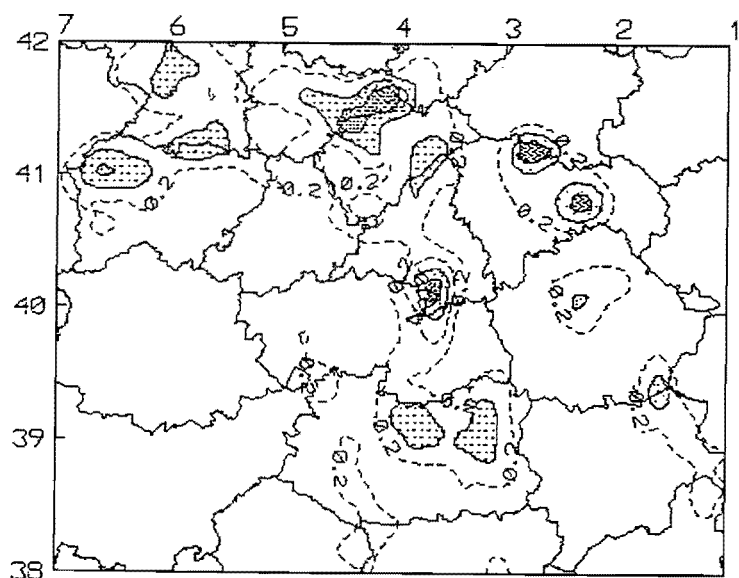
**Fig. 20 Distribución espacial de rayos negativos para tormentas con Forzamiento Sinóptico, FS, normalizado respecto al máximo de rejilla ( $0.2^\circ \times 0.2^\circ$ ) en cada período horario. a) de 00-06 z. b) de 06-12 z. c) de 12-18 z y d) de 18-24 z.**



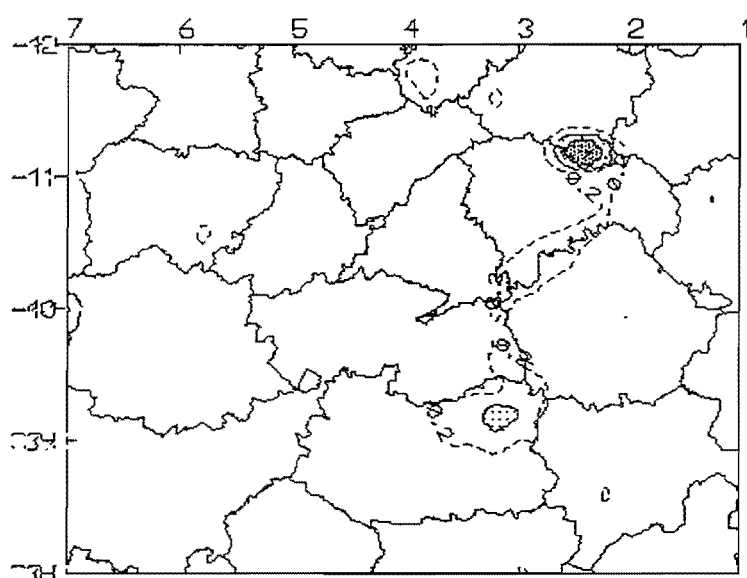
**Fig. 20 a Dis. Normalizada de Neg. 00-06 z**



**Fig. 20b Dis. Normalizada de Neg. 06-12 z**

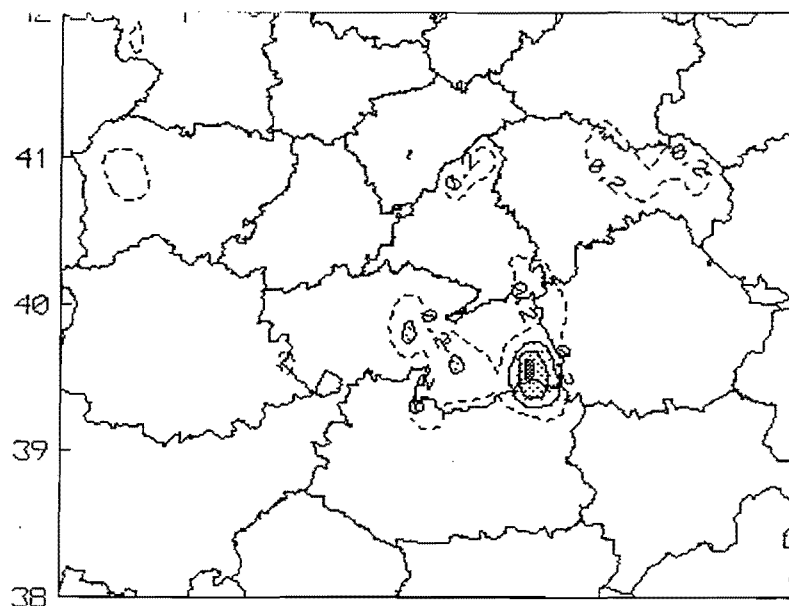


**Fig. 20c Dis. Normalizada de Neg. 12-18 z**

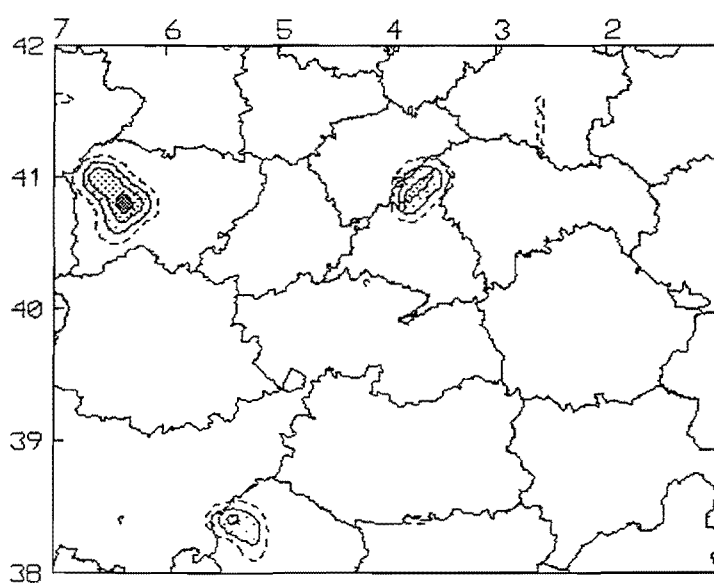


**Fig. 20d Dis. Normalizada de Neg. 18-24 z**

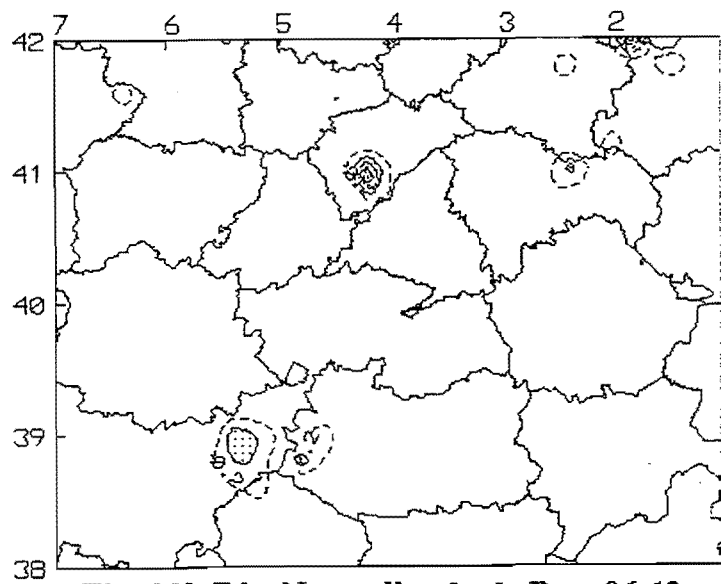




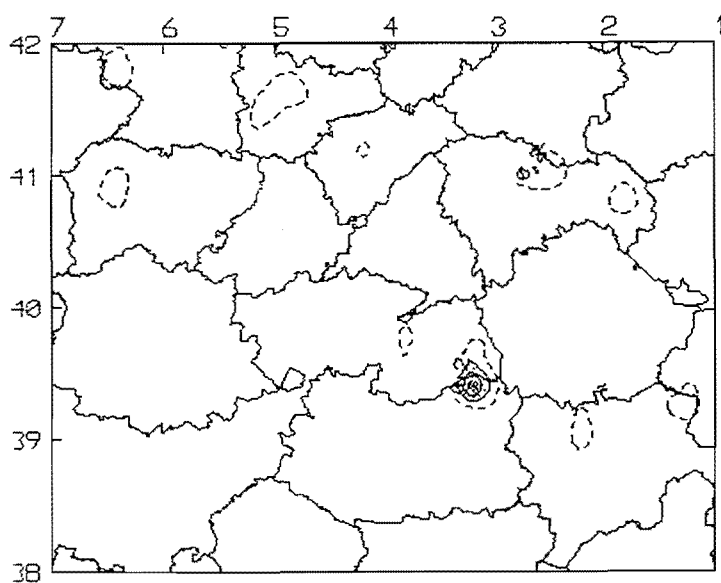
**Fig. 21 Dis. Normalizada de Pos. con FS**



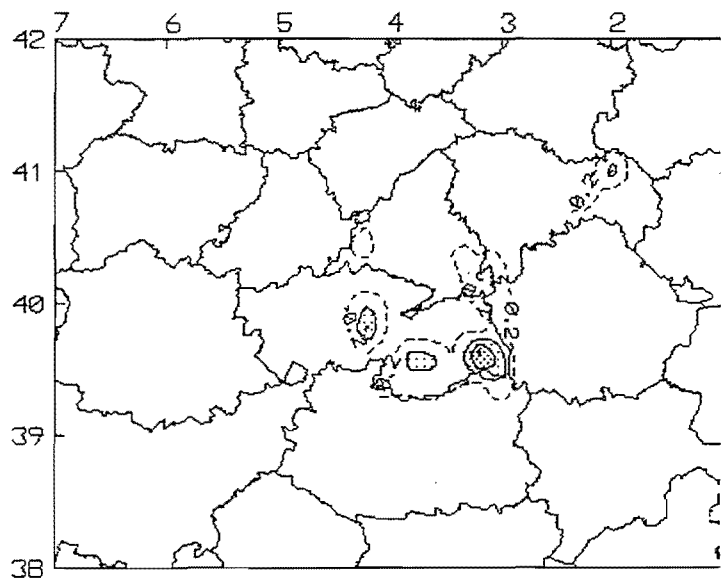
**Fig. 22a Dis. Normalizada de Pos 00-06 z**



**Fig. 22b Dis. Normalizada de Pos. 06-12 z**



**Fig. 22c Dis. Normalizada de Pos. 12-18 z**



**Fig. 22d Dis. Normalizada de Pos. 18-24 z**

### **-Conclusiones de los apartados correspondientes a los tipos de tormentas: FS y MA.**

Las tormentas de masa de aire, MA, están fuertemente moduladas por las circulaciones mesoescalares que se generan a nivel local, siendo más eficientes, a la hora de generar una gran cantidad de rayos, las asociadas a las circulaciones que se generan entre zonas llanas y de montaña. Los máximos se encuentran sobre las tierras segovianas próximas al Sistema Central y las alineaciones aragonesas del Ibérico. Salamanca y SW de la provincia de Albacete son otras dos zonas llamativas en la distribución de rayos negativos. Primero se suelen disparar las ligadas a los efectos orográficos (12-18) y posteriormente toman la iniciativa las que lo hacen en zonas llanas. Otro tipo de circulaciones, de menor escala y producidas por calentamiento diferencial, son las asociadas a los contrastes entre el agua-tierra; como ejemplo de estas tenemos las producidas por los propios ríos, embalses, lagunas, etc. Los llamados nidos de tormentas se pueden identificar utilizando la distribución espacial del número de días de rayos negativos, pero habría que distinguir entre los que son muy eficientes en la producción de rayos, frente a los que no lo son.

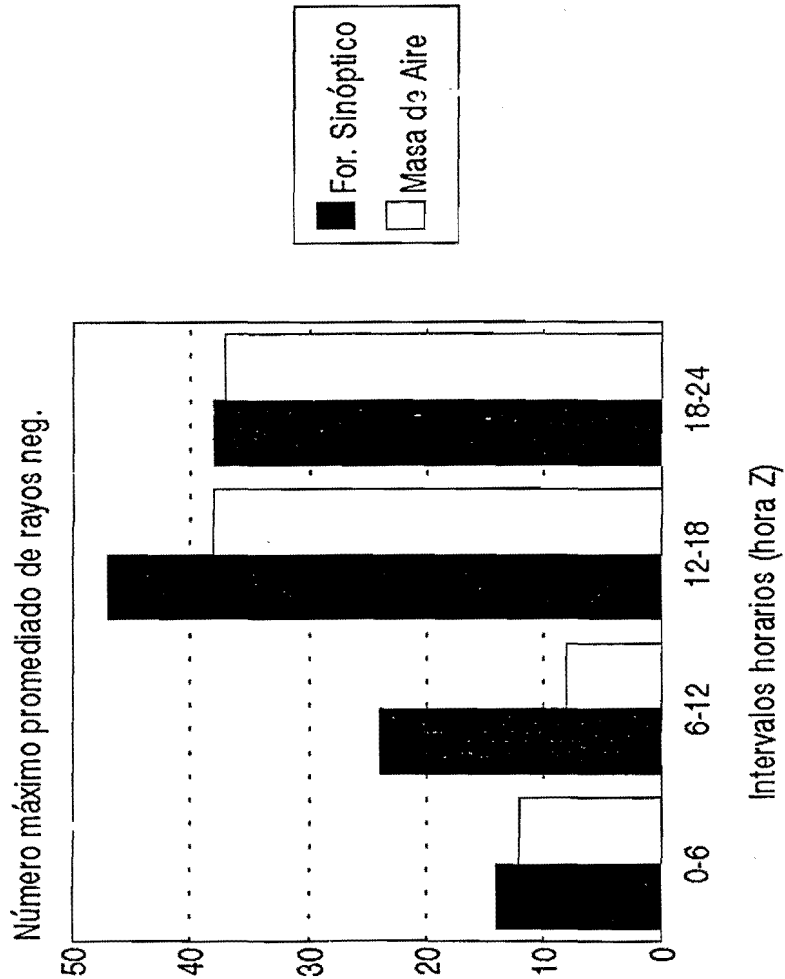
Las tormentas que se generan con forzamiento sinóptico no están tan fuertemente influenciadas por la orografía local, de forma que su distribución es más uniforme que las anteriores y en este caso tiende a dispararse primero en las zonas llanas que las montañosas. Tan solo el Sistema Ibérico en su alineación más occidental da una señal continua, desaparecen los máximos ligados a su sector nororiental y la franja meridional asociada al Sistema Central se difumina.

De forma equivalente a la Fig 12, se ha representado los valores promediados del número de rayos máximos detectados diariamente, en todas las rejillas y por períodos de 6 horas, como una medida característica de estos dos tipos de tormentas, Fig 23.

En la Fig. 23a tenemos la representación de los negativos. Observamos el papel de calentamiento diurno en ambos casos, pero su efecto es más llamativo y acusado en la tormentas de MA. El mismo efecto ocurre con los positivos, Fig 23b. Se sigue manteniendo el factor de proporción aproximado de 1:10 a favor de los negativos.

a)

Valor medio de los máximos de rejillas diarios  
para los rayos negativos según el tipo de tormenta



b)

Valor medio de los máximos de rejillas diarios  
para los rayos positivos según el tipo de tormenta

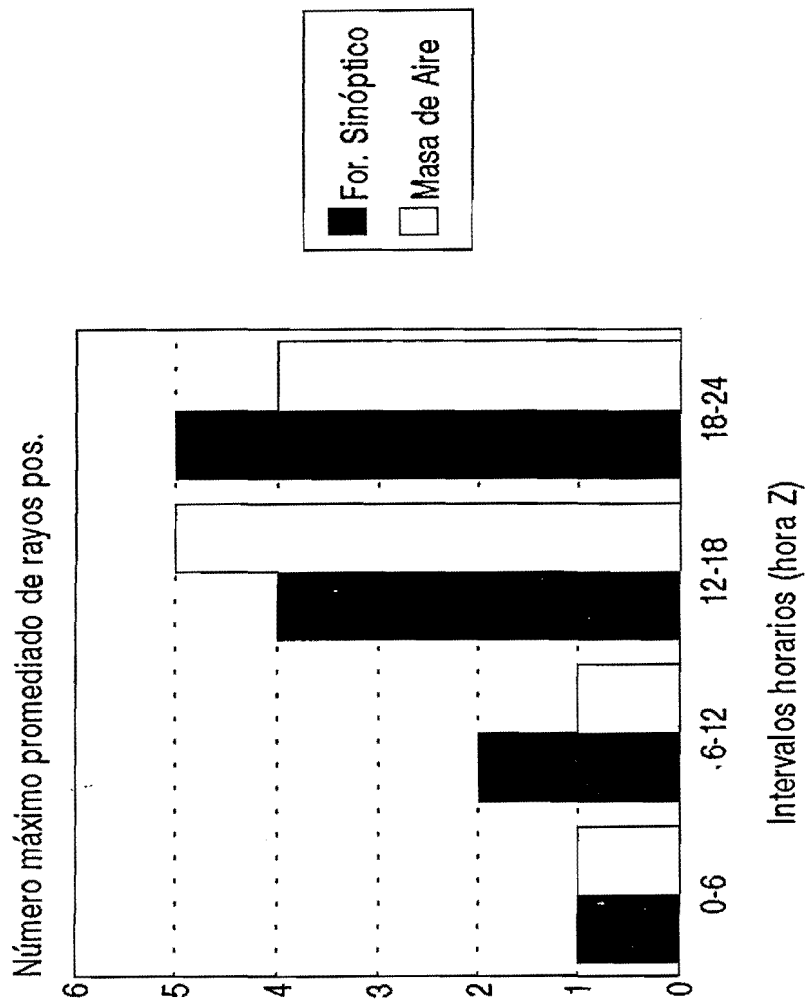


Fig. 23

#### 4. CONCLUSIONES.

Hemos estratificado, en esta segunda parte, los días con tormentas en varios grupos en función de dos parámetros que resultaron muy significativos en la Campaña-92: según el flujo en 700 mb y el tipo de forzamiento existente. Aunque el número de días es algo reducido, cuando se divide la muestra originaria correspondiente al año 1993, parece claro **que el papel del calentamiento diurno es fundamental** a la hora de generar la convección, sobre todo en el período entre 12 y 18z, pero lógicamente no es el único. Es un hecho, que zonas donde se alcanzan elevadas temperaturas en la época estival en España (Andalucía, Extremadura, etc) no son las zonas más próclives a los desarrollos convectivos y tormentosos. Deben de haber otros factores que sean capaces de modular la generación de la convección. En el período que nos concierne, las situaciones atmosféricas, en general, no suelen estar muy marcadas en altura (ver nota en la Introducción de la PARTE II) y por contra en capas bajas se desarrolla una baja de origen térmico, induciendo un régimen de circulaciones mesoescalares especiales.

Esta estructura de vientos en niveles bajos esta fuertemente modulada por los accidentes topográficos naturales: mesetas, sistemas montañosos, ríos, etc., así como los de origen artificial (grandes embalses). Estos son los que, en cierta medida, van a condicionar las circulaciones secundarias de tipo mesoescalar de origen térmico: circulaciones entre zonas llanas y elevadas, agua (embalses y ríos) y tierra, o incluso las que se generen entre zonas arboladas y desiertas. De este tipo de circulaciones, y los sistemas que lo generan, debe de ser muy rica la zona de nuestro estudio.

Cuando mejor se pueden poner de manifiesto estas singularidades mesoescalares es al estudiar la distribución de las tormentas de masa de aire, MA, donde las posibles circulaciones locales se pueden poner mejor de manifiesto al estar libre del influjo sinóptico. Para este caso se aprecian varias alineaciones tormentosas a destacar:

a) Las de carácter orográfico, con circulaciones meseta-montañas que se suelen disparar entre las 12-18Z.

-La más significativa es la que recorre todo el Sistema Central en su vertiente Norte y **alejada de sus picos o alineaciones mas elevadas**, desde Salamanca hasta Soria. En **las provincias de Segovia y Avila** es donde se alcanzan las máximas concentraciones. Al contrario, las zonas elevadas de Gredos ofrecen un mínimo en todas las distribuciones espaciales y temporales.

-Las del Sistema Ibérico, donde parece existir dos zonas. La primera arrancaría desde la provincia de Soria y baja por Guadalajara hasta Albacete, y una segunda, con una misma alineación, que arrancaría desde las provincias aragonesas hasta las de la Comunidad Valenciana.

b) Las generadas en zonas llanas, por discontinuidades artificiales o naturales, que aparecen sobre la cobertura terrestre. Estos son los casos que existen entre zonas áridas y áreas donde discorra el agua o esté embalsada, o incluso el caso de grandes zonas arboladas. Se observa como pueden generar tormentas, pero sus máximas contribuciones parecen producirse en el período entre 18-24, cuando las de carácter orográfico han perdido iniciativa. Podemos

distinguir varias zona:

- El eje del Duero con un ramal que se interna en la provincia de Salamanca.
- Las riberas del Tajo.
- La zona de pantanos del NE de Badajoz: Cijara y García Sola.

Los pantanos de Entrepeñas y Buendía, en el Ibérico, y el de Valdecañas en Cáceres, dan una señal significativa en cuanto a días con tormentas pero quedan muy difuminados en cuanto a la generación de muchos rayos. Lo mismo ocurre con las Sierras de Alcaraz y Calar del Mundo al SW de Albacete. Los Montes de Toledo y gran parte de Sierra Morena no dan ninguna señal en cuanto a los focos tormentosos.

Las **tormentas con FS** parecen afectar de forma más uniforme a toda la Zona Centro, pero en especial a las zona llanas, con las máximas concentraciones de rayos desplazadas temporalmente al período de 12-18. Esto es, las tormentas con FS se disparan antes que las de MA por el acoplamiento entre el calentamiento diurno y el forzamiento externo, sin que el papel de la orografía sea determinante.

Respecto a los flujos en 700 mb podemos indicar que su papel también es significativo, condicionando los lugares y horas en la formación, traslación y disipación de las tormentas. Así con SW las primeras tormentas se forman entre las 06 y 12Z (quizás al final del período) según el eje del sistema Central y en su vertiente norte, arrancando desde la provincia de Avila hasta la de Soria y alejado de las máximas alturas de las montañas. En el siguiente período comienza a dar señal el Ibérico y otras porciones del Central en la provincia de Salamanca. Tan solo después de las 18 Z es cuando aparecen concentraciones significativas de rayos negativos en las zonas llanas.

Con los SE desaparecen por completo las concentraciones de rayos en la porción del Ibérico aragonés y valenciano, pero por contra aparecen otros máximos en la partes llanas central y occidental de la Meseta Norte. De los sistemas montañosos, sólo el Ibérico mantiene una señal destacable que arranca desde las tierras murcianas hasta las de Guadalajara. En este caso las tormentas parecen generalizarse después del mediodía.

Estos resultados, junto con los obtenidos en la primera parte del trabajo, nos pueden dar una idea de como los fenómenos tormentosos, en la Zona Centro, están modulados y controlados por factores sinópticos y locales, así como el papel del calentamiento diurno. Los resultados son esperanzadores en cuanto a la hora de entender y objetivizar de cuándo, dónde y cómo se puede generar la convección en la zona centro: zona de focos de tormentas, evolución temporal y espacial, etc. incluso para un solo año, 1993, que fue escaso en fenómenos tormentosos (sobre todo en Julio). Estos resultados deben de ser confirmados en campañas sucesivas, quizás extendiendo la ventana temporal de estudio a Mayo y Septiembre, modificando el tamaño de la rejilla y/o reduciendo los períodos temporales de 6 a 3 horas.

Otro aspecto importante es que este tipo de estudio deberían complementarse con otros locales, donde se tengan en cuenta la evolución de las posibles zonas de convergencia, fronteras (utilizando modelos numéricos de mesoescala y datos de viento de estaciones automáticas, etc.) y los datos de radar de la zona en cuestión.



AREA DE PREDICCION

**SERVICIO DE TECNICAS DE ANALISIS Y  
PREDICCION**

**NOTA TECNICA N° 19**

**EDICION**

**10-Noviembre-94**

**REVISION**

**-0-**

# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## **PARTE III**

### **RESUMEN CONCEPTUAL Y EJEMPLOS DE SITUACIONES ESPECIFICAS**

**Francisco Martín León**

**Gerardo Sanz Arauz (\*)**

**(\*) Ayudante en prácticas del Centro Nacional de Predicción**

**INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA  
Subdireccion General de Predicción y Vigilancia**



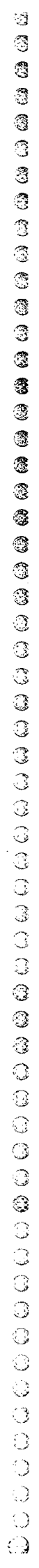


# **CARACTERIZACION DE LA ACTIVIDAD TORMENTOSA EN LA ZONA CENTRO DURANTE EL VERANO DE 1993**

## ***PARTE III: RESUMEN CONCEPTUAL Y EJEMPLOS DE SITUACIONES ESPECIFICAS.***

	<b><u>Pag.</u></b>
<b>1. INTRODUCCION.</b>	1
<b>2. CICLO DIURNO.</b>	2
<b>3. DISTRIBUCION ESPACIAL CONCEPTUAL DE LAS TORMENTAS POR SITUACIONES ATMOSFERICAS.</b>	4
3.a. Flujo del SW en 700 mbs.	4
3.b. Flujo del SE en 700 mbs.	6
3.c. Tormentas de Masa de Aire (MA).	8
3. b. Tormentas con Forzamiento Sinóptico (FS).	10
<b>4. EJEMPLOS DE ALGUNAS ESTRUCTURAS TORMENTOSAS CON ORGANIZACIONES ESPECIALES.</b>	13
4.a. Tormenta movil en flujo del SW.	14
4.b. Tormenta cuasiestacionaria.	16
4.c. Tormentas en línea en Forzamiento Sinóptico.	17
4.d. Tormenta con anomalía de positivos.	18
4.e. Tormentas de Masas de Aire y de origen orográfico.	20
4.f. Tormentas en Flujo del SE.	22
<b>5. CONCLUSIONES FINALES.</b>	23

## **BIBLIOGRAFIA**



## 1. INTRODUCCION.

En este apartado se tratará de **resumir conceptualmente** los resultados obtenidos en los anteriores capítulos, focalizándose en los temas que puedan servir de cara a la predicción de fenómenos tormentosos. En todas las secciones existirá un resumen escrito y sus correspondientes gráficos, que en la mayoría de los casos se corresponden con las figuras de las Partes I y II, pero presentados de forma más condensada.

Ya que las **tormentas de primavera-verano están caracterizadas por su actividad eléctrica generada por los rayos negativos** (salvo casos excepcionales, donde durante parte del ciclo de vida pueden predominar los positivos), se resumirán las características de dichas descargas en el texto, aunque no así en algunas figuras. Para mayor detalle ir a los apartados correspondientes en Parte I y II. Además de los resultados objetivos obtenidos durante la Campaña de 1993, se presentarán otros de tipo **subjetivo** sacados de la experiencia de varios años del trabajo en este campo.

Se comenzará por resumir los elementos básicos asociado a las tormentas estivales en la Zona Centro:

- Ciclo diurno.
- Distribución espacial de las tormentas según ciertas situaciones atmosféricas.

Por último se presentan algunos fenómenos tormentosos asociados a cierto tipo de estructuras especiales que se presentaron durante el verano del 93:

- \*Tormenta móvil en flujo del SW.
- \*Tormenta cuasiestacionaria.
- \*Tormentas en línea.
- \*Tormenta con anomalía de rayos positivos.
- \*Tormentas de MA y de origen orográfico.
- \*Tormentas en flujo del SE.

Hay que hacer notar que existe una gran variabilidad diaria en la generación de los focos tormentosos y que queda algunos apartados que no se han abordado en esta Nota Técnica, como son la relación existente entre los rayos y:

- La inestabilidad atmosférica (índices de inestabilidad) y cizalladura del viento.
- Ciertos fenómenos de superficie: granizada, vientos fuertes, incendios forestales, etc.
- Predictando a partir de modelos numéricos operativos.
- Otros.

Por último se vuelve a insistir en el hecho de que estos resultados se han obtenido **tan solo de la Campaña de 1993**. Se proseguirá estudiando estos importantes datos en los sucesivos años para confirmarlos o modificarlos en función de la posible variabilidad que se puedan producir de un año para otro.

## 2. CICLO DIURNO.

Independientemente del forzamiento sinóptico en niveles medios-altos, el ciclo diurno es un elemento clave para la generación de los rayos, para este año hemos obtenidos estos resultados:

- \*Hora de inicio de los primeros rayos: entre las 10 y 12 z , Fig 6a.
- \*Máxima cantidad de rayos: entre las 14 y 18 z, Fig 4.
- \*Máxima actividad eléctrica por hora: entre las 15 y 18 z, Fig 5, barras blancas.
- \*Hora de los últimos rayos: entre la 20 y 23 z.

Además de existir un aumento de inestabilidad en capas bajas por el calentamiento radiativo proporcionado por la fuente indirecta de calor, como es el suelo, la existencia de otros factores debe de favorecer, focalizar y **disparar** la convección, haciendo que esta alcance una profundidad adecuada a lo largo de la troposfera. Zonas sometidas a un fuerte calentamiento diurno, como son la región extremeña y norte de Andalucía, no son áreas donde existió gran actividad eléctrica.

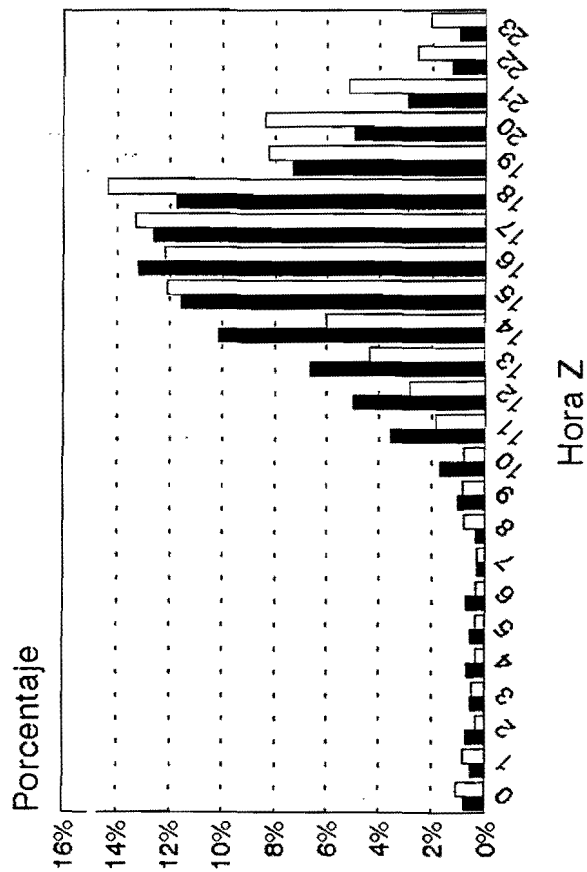


Fig. 4 Porcentaje horario de rayos respecto al total diario:  
Negativos (barras negras) y positivos (barras blancas)

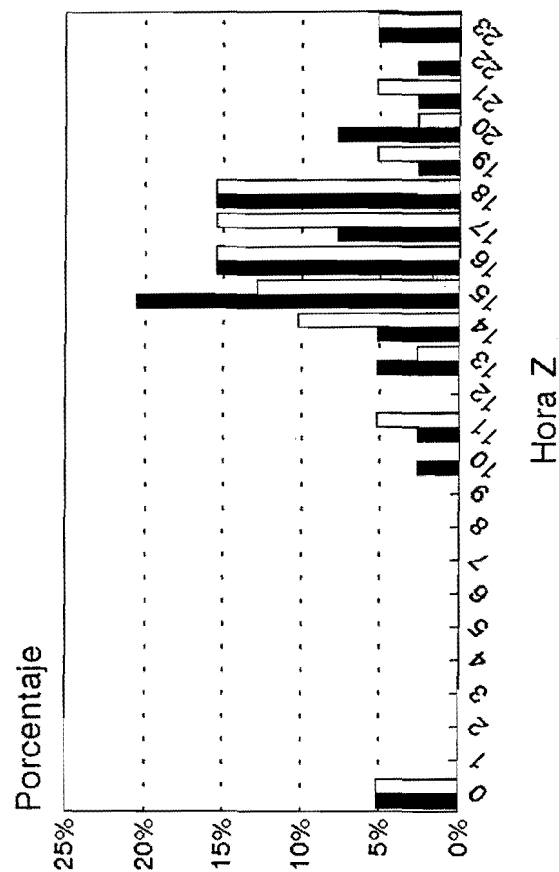


Fig. 5 Porcentaje de días, para cada hora, en que se ha detectado  
la máxima actividad.  
En 5 min. (barras negras) y en 1 hora (barras en blanco)

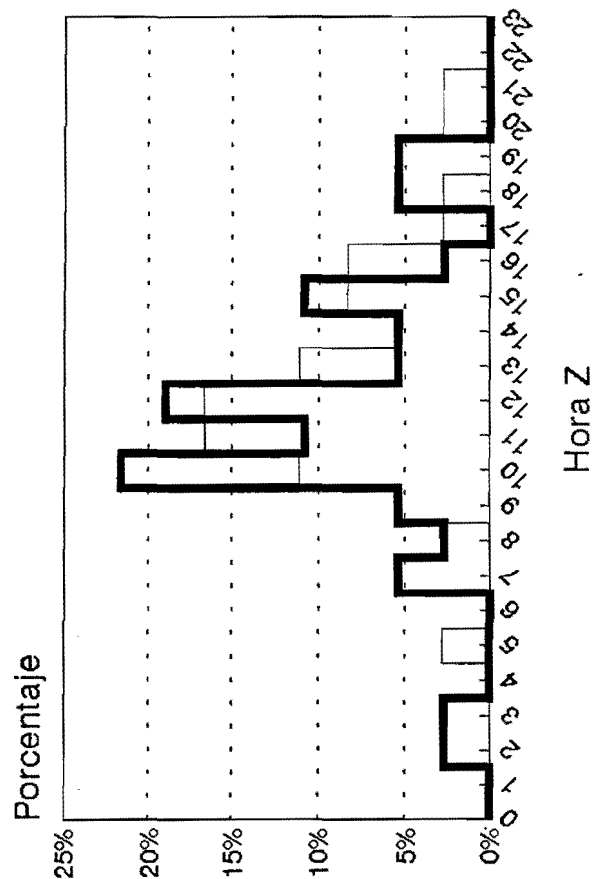


Fig. 6a Porcentaje de días, para cada hora, en los que se detectaron  
los primeros rayos: negativos (línea gruesa) y positivos (línea fina).

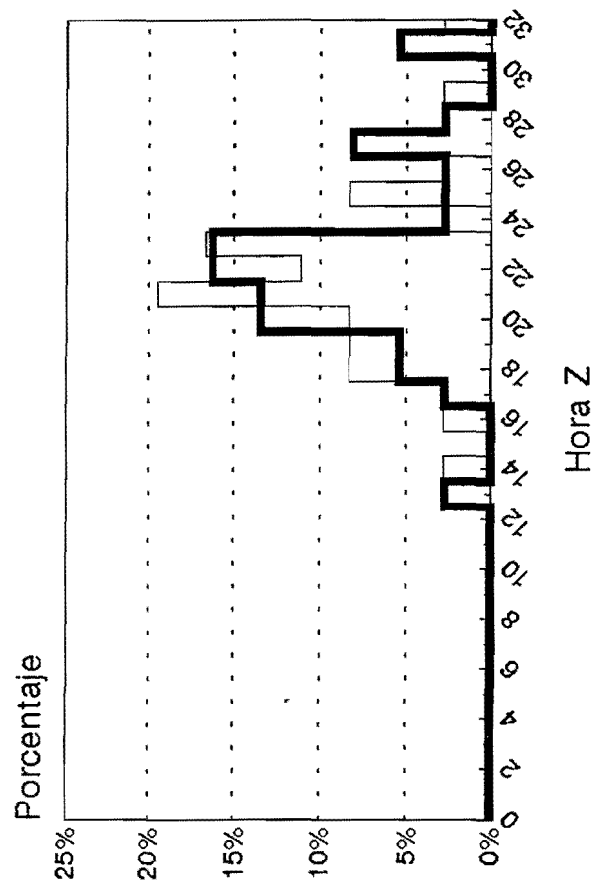


Fig. 6b Porcentaje de días, para cada hora, en los que se detectaron  
los últimos rayos: negativos (línea gruesa) y positivos (línea fina).

### 3. DISTRIBUCION ESPACIAL CONCEPTUAL DE LAS TORMENTAS POR SITUACIONES ATMOSFERICAS.

Vamos a resumir, de forma conceptual, los resultados obtenidos durante la Campaña de 1993 para distintos tipos de situaciones.

#### 3.a. Flujo del SW en 700 mbs.

En estas situaciones suelen predominar las tormentas de **masa de aire y origen orográfico**. En general su grado de movilidad esta influenciado por la intensidad del flujo en niveles medios. La existencia de perturbaciones u ondas en 300 mbs condicionaran la existencia o no de forzamiento sinóptico.

-Primeras tormentas.

Aparecen antes del mediodía, a lo largo de un corredor que arranca desde el NE de Avila hasta Soria pasando a lo largo de la provincia de Segovia pero **lejos de las zonas más elevadas**. Esta zona, cercana al S. Central, suele dispararse antes que el Ibérico y de forma más extensa. Las primeras tormentas del Sistema Ibérico lo hacen en la zona donde confluyen las provincias de Soria, Zaragoza y Guadalajara.

-Desarrollo.

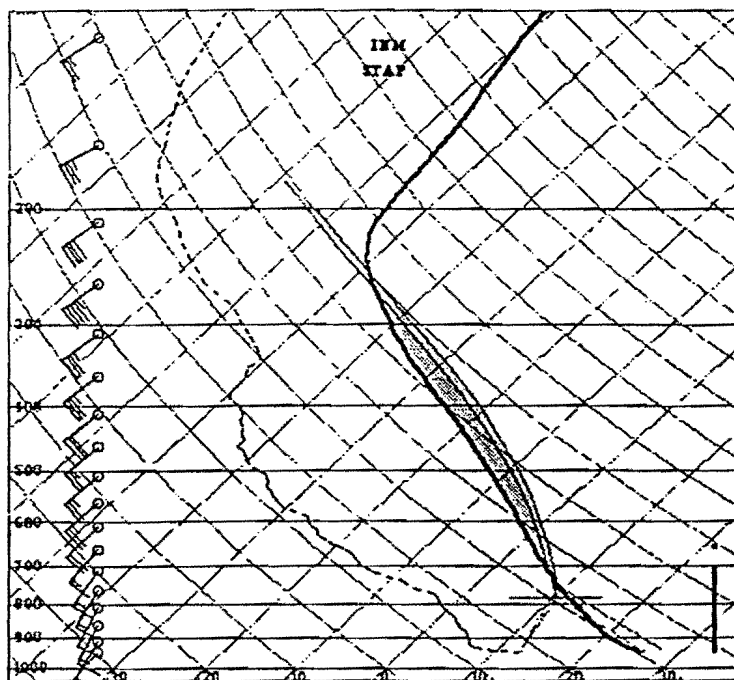
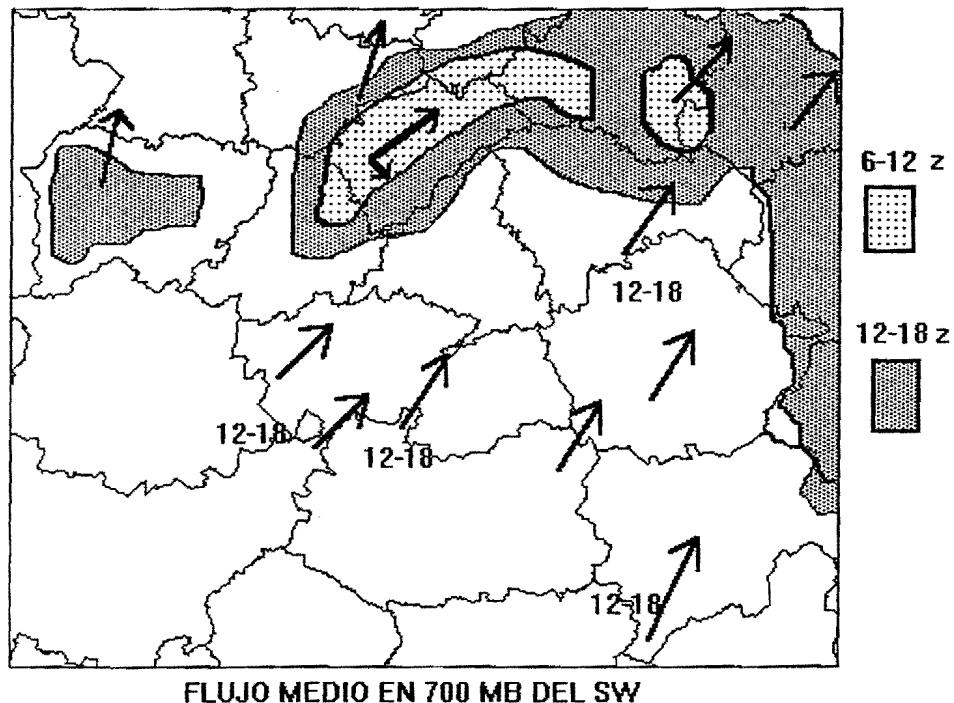
Coincidiendo con el calentamiento diurno y el flujo medio conductor (ver sondeo medio de Madrid-Barajas de 12z de los días convectivos con SW en 700 mb), las tormentas del Central se trasladan en dicha dirección a la vez que nuevas tormentas aparecen de forma más amplia e incluso más próxima a las Sierras de Guadarrama y Somosierra.

El Ibérico "explota" en su vertiente más oriental (Zaragoza-Teruel-Valencia) a la vez que se disparan las tormentas en Salamanca.

Las flechas sin áreas sombreadas indican la posición de otras zonas de posibles focos tormentosos de interés pero que generaron un número reducido de rayos, en proporción con los de las cadenas de montaña y zonas llanas de Castilla-León.

*Situaciones con SW en 700 mbs y sondeo medio de 12 z de Madrid-Barajas*

**PRINCIPALES FOCOS TORMENTOSOS Y EVOLUCION**



### 3.b. Flujo del SE en 700 mbs.

El patrón de comportamiento cambia radicalmente en este tipo de situaciones, durante el 93.

#### -Primeras tormentas.

Aparecen antes del medio día **en las zonas llanas de Castilla-León** y alejadas de accidentes orográficos. Ni el S. Central ni el Ibérico responden en este tipo de situaciones de las misma forma que lo hacen con SW.

El sondeo medio a las 12z, presenta débil cizalladura vertical del viento en intensidad pero no en dirección ya que pasa del SE a componente S, de forma que las tormentas pueden moverse en cualquier dirección comprendida entre estas direcciones y se suelen desplazar con una componente entre NW y N.

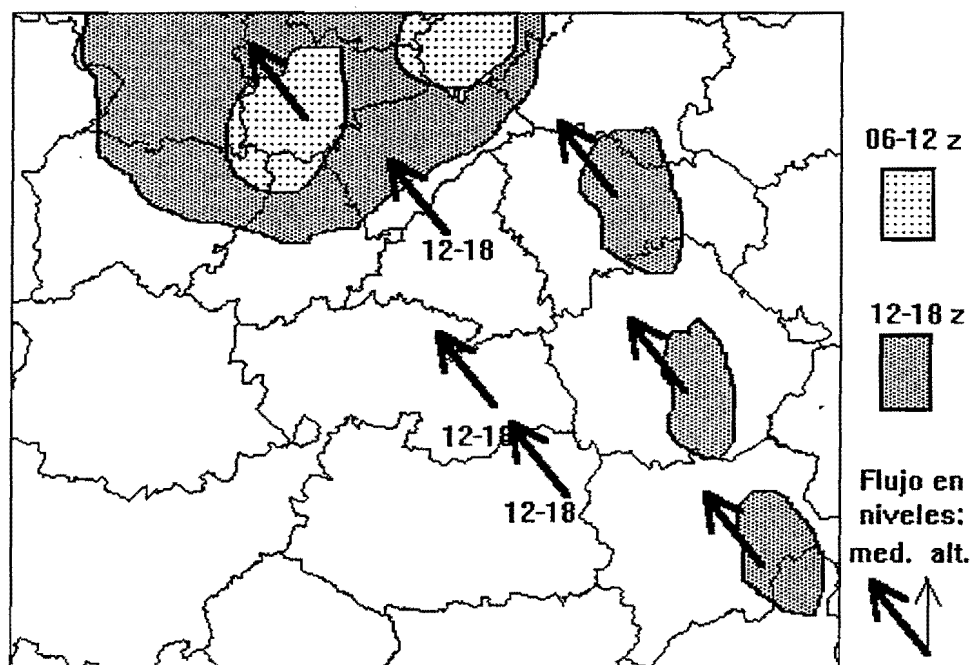
#### -Desarrollo.

Las zonas llanas de Castilla-León se ven más afectadas, como consecuencia de las que se generaron con anterioridad u otras nuevas que se forman en las zonas llanas, a la vez que el Sistema Ibérico, **en su vertiente castellano-manchega**, desarrollan cierta actividad de carácter orográfico (eje Albacete-Cuenca-Guadalajara). Por contra desaparece o se reduce la actividad de la vertiente más oriental (aragonesa-valenciana).

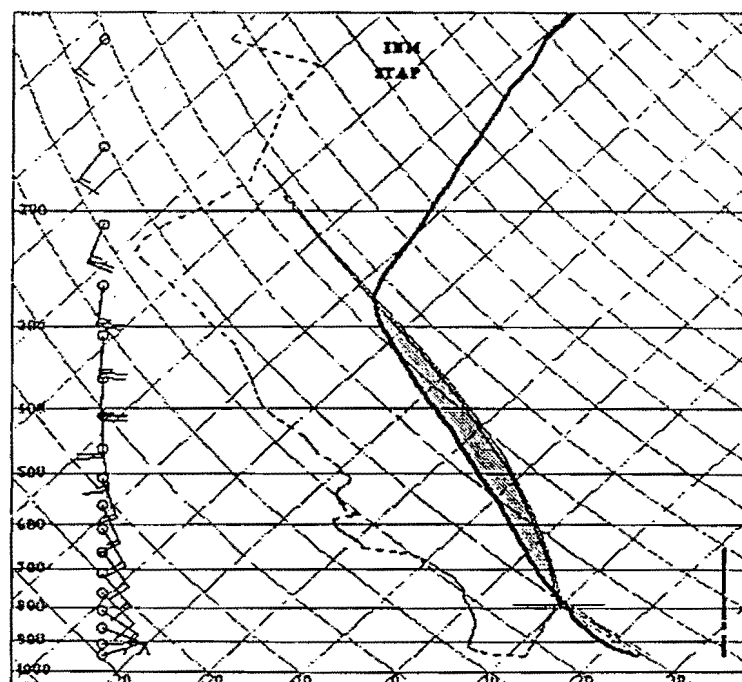
Algunos focos tormentosos pueden aparecer al NE de la provincia de Ciudad Real y Montes de Toledo.



**PRINCIPALES FOCOS TORMENTOSOS Y EVOLUCION**



**FLUJO MEDIO EN 700 MB DEL SE**



### 3.c. Tormentas de Masa de Aire (MA).

Este tipo de tormentas presentan, a grandes rasgos las características asociadas a las de flujo en 700 mb de SW. Si observamos el sondeo medio de 12 z podemos apreciar ciertas diferencias fundamentales. El flujo medio en todos los niveles es más débil y el sondeo presenta una mayor inestabilidad (área sombreada) por lo que tendremos tormentas que se desplacen menos y, por tanto, las zonas afectadas suelen ser más pequeñas que con flujo del SW, cuando este es más marcado.

#### -Primeras tormentas.

Aparecen, en general, **después del medio día y son de carácter orográfico** pero afectan a áreas más restringidas que con las que estamos comparando (SW).

Destacan las zonas amplias de las provincias de Segovia y Salamanca, en Castilla-León y las áreas del Ibérico en las zonas altas de las provincias de Zaragoza y Valencia.

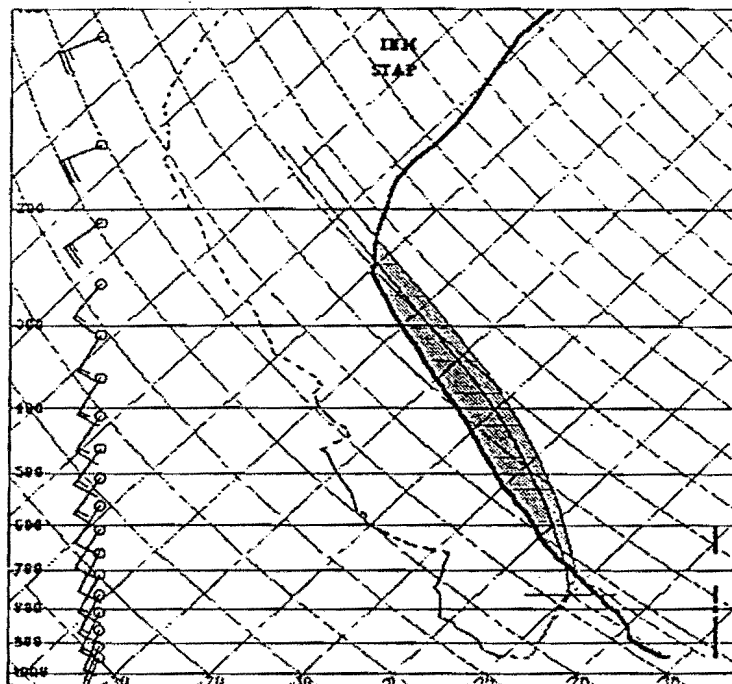
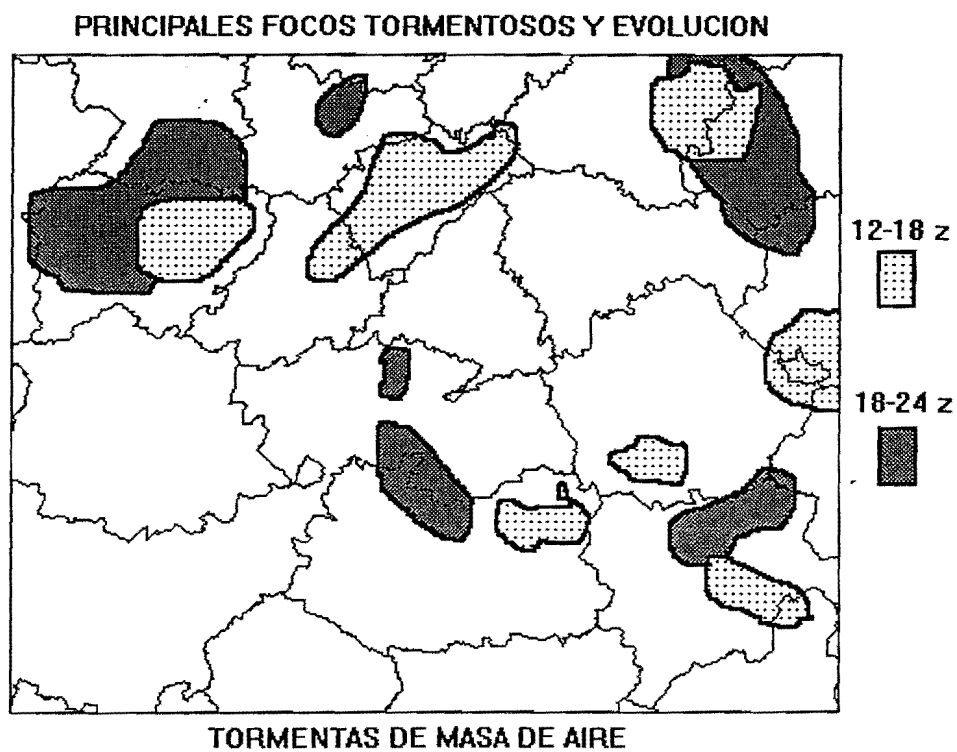
#### -Desarrollo.

Llama la atención que **después de las 18 z la actividad ligada al S Central desaparece** casi por completo; por contra las tormentas de las áreas llanas amplían su radio de acción (Salamanca) y el mismo hecho ocurre con el sistema Ibérico pero solo en las sierras sorianas y aragonesas.

Indicar una vez más que las tormentas de MA no son en si mismas un problema exclusivamente del calentamiento del aire situado en capas bajas, sino que afecta a la estructura vertical de la atmósfera. La presencia de ondas cortas o vórtices en altura (imágenes de vapor de agua del Meteosat), se suelen reflejar como vaguadas térmicas en 500 mbs sobre la península. Si durante el medio día pasan sobre las mesetas se produce un acoplamiento de forma que la inestabilidad atmosférica aumenta (calentamiento en niveles bajos, enfriamiento en niveles altos).

De la misma forma se puede hablar de los factores verticales que se oponen a la convección, en días con fuerte calentamiento diurno: capas muy secas en 700 mbs, fuertes inversiones en niveles bajos, etc.

*Situaciones con tormentas de MA y sondeo medio de 12 z de Madrid-Barajas*

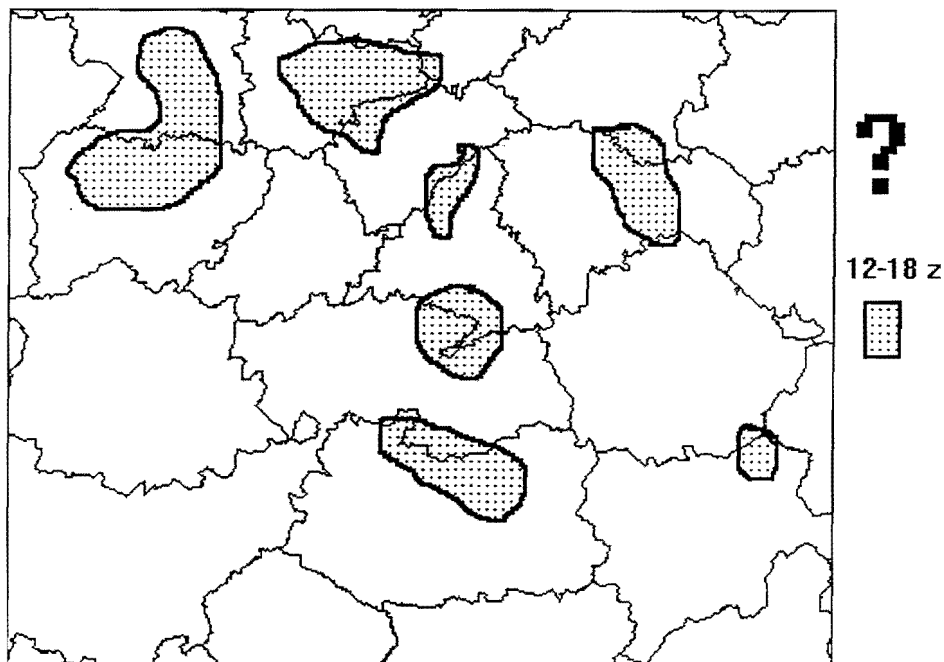


### **3. b. Tormentas con Forzamiento Sinóptico (FS).**

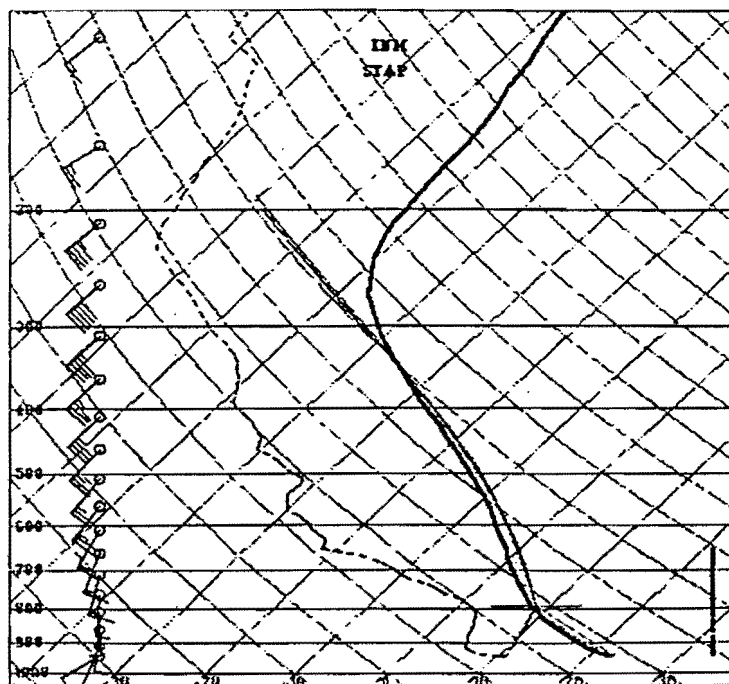
Del reducido número de casos en que se presentaron tormentas con Forzamiento Sinóptico, pocas conclusiones se pueden sacar. Tan solo indicar que el peso de la orografía, en la formación de los focos tormentosos decae, y presenta una distribución de días algo más uniforme que los casos anteriores al existir un mecanismo de disparo más general. El resultado es la existencia de tormentas más o menos generalizadas, sin estar fuertemente ligadas a las componentes locales del terreno.

El propio sondeo medio de 12 z nos confirma esta idea, los posibles movimientos generalizados acercan la curva de estado a una adiabática seca/húmeda, disminuye la inestabilidad (área sombreada) y el nivel de condensación .

**PRINCIPALES FOCOS TORMENTOSOS Y EVOLUCION**



**TORMENTAS CON FORZAMIENTO SINOPTICO**



Pagina en blanco

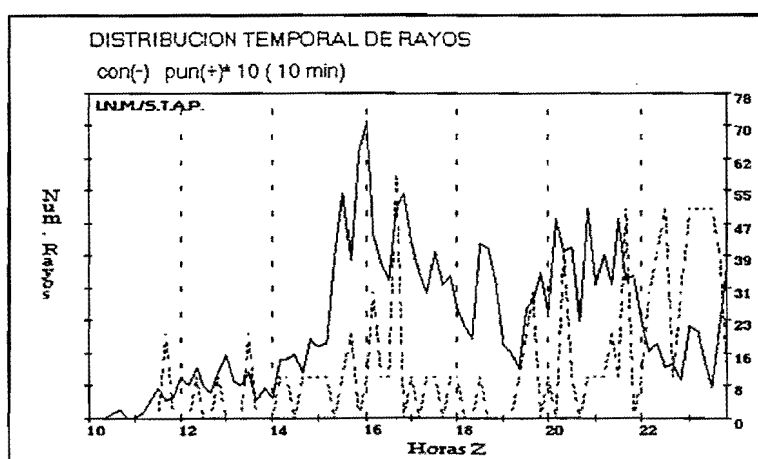
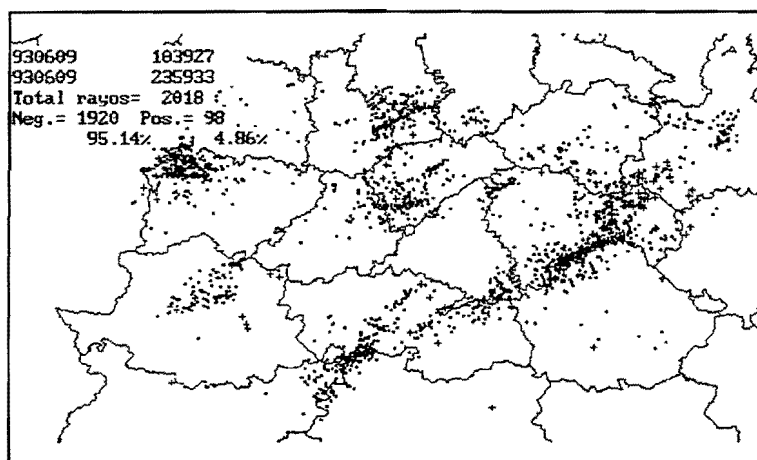
#### **4. EJEMPLOS DE ALGUNAS ESTRUCTURAS TORMENTOSAS CON ORGANIZACIONES ESPECIALES.**

Como complemento al anterior apartado se van a presentar algunas situaciones tormentosas concretas, donde se ponga de manifiesto algunos elementos indicados con anterioridad. En todas ellas se presentará la situación tormentosa, en general, así como la distribución temporal de rayos, cada 10 minutos: negativos (línea continua) y positivos (línea a puntos), esta última con un factor de escala de 10, al ser estos muy poco numerosos. Posteriormente se presenta la "traza" tormentosa del fenómeno **aislado y de interés**, en diferentes períodos horarios para analizar su distribución espacial y temporal.

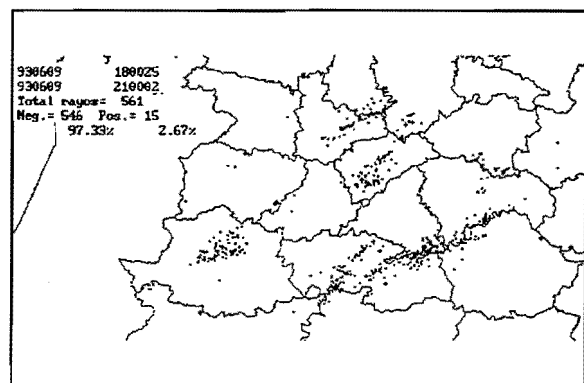
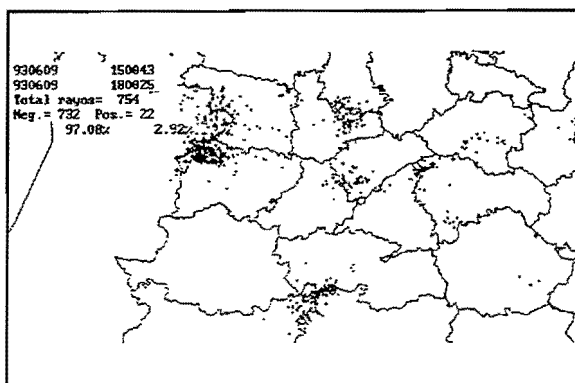
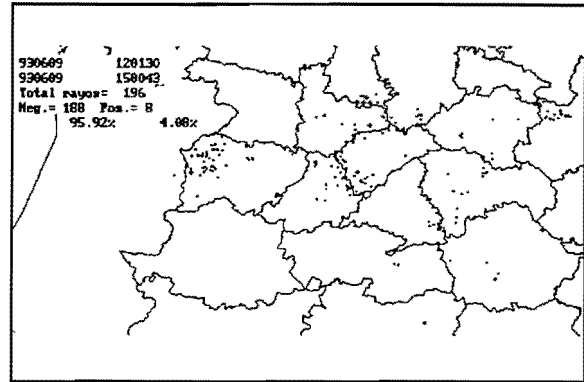
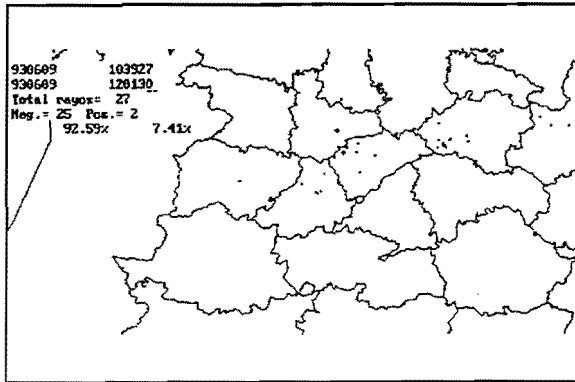
#### 4.a. Tormenta aislada móvil en flujo del SW.

Este caso corresponde al día 9 de Junio, en el que el flujo en niveles medios fue del SW. En las ilustraciones inferiores se pueden ver la traza dejada por las tormentas durante todo el día y la distribución temporal de rayos cada 10 minutos, tanto positivos (a trazos y multiplicados por un factor de escala 10) como negativos (línea continua). En el registro correspondiente a todo el día se observó la orientación SW-NE de las secuencias de rayos en la zona de Castilla La Mancha.

En las ilustraciones de la página opuesta se muestran los registros acumulados en los períodos de observación sinóptica, de 3 en 3 horas. En los tres últimos destaca la señal dejada por una tormenta aislada que se origina en la región de los embalses, en el extremo NE de Badajoz (éste es uno de los sitios que se han revelado más favorables para la formación de tormentas). La perturbación se traslada (tras decaimiento y posterior reactivación) hacia el NE empujada por el flujo en niveles medios. En su desplazamiento recorre gran parte del cauce del río Tajo, reactivándose a su paso por la zona de los embalses de Entrepeñas y Buendía, hasta disiparse al final del día en la Ibérica. En esta última fase tiene lugar un notable aumento del porcentaje de cargas positivas.

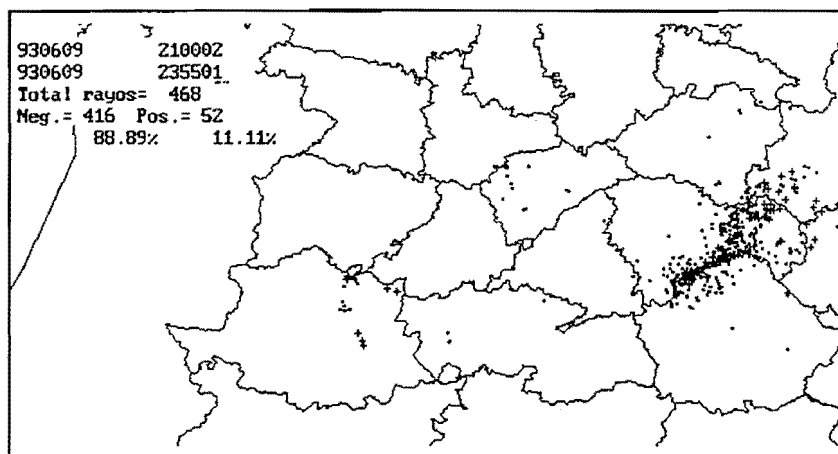


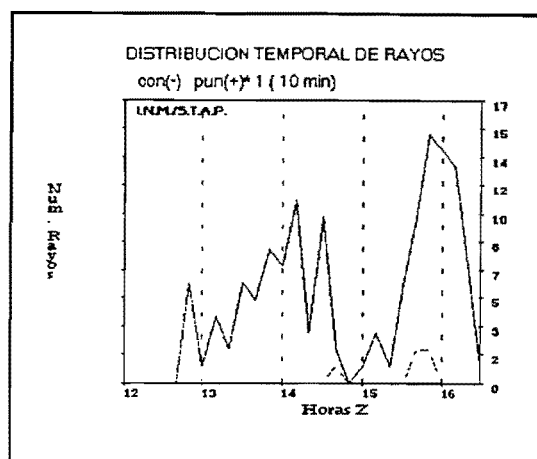
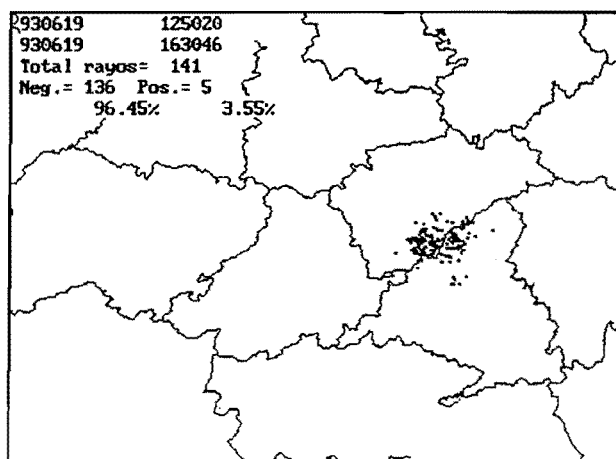




## TORMENTA AISLADA MÓVIL

### EN FLUJO DEL SW

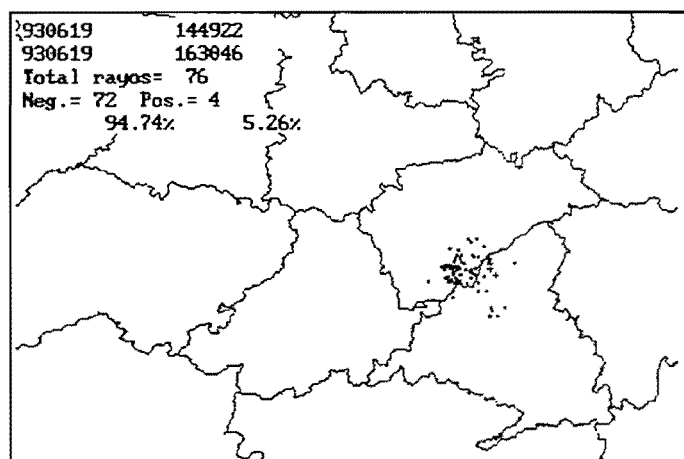
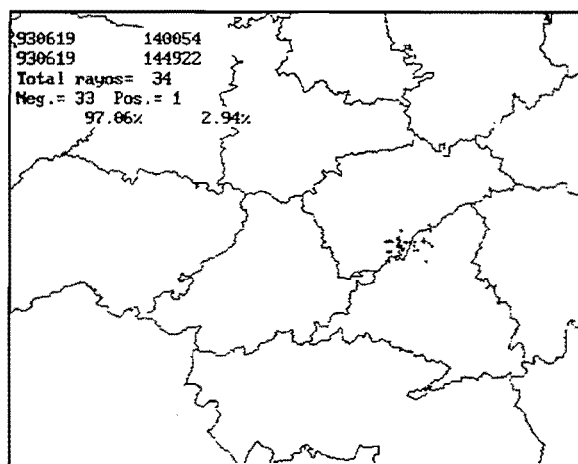
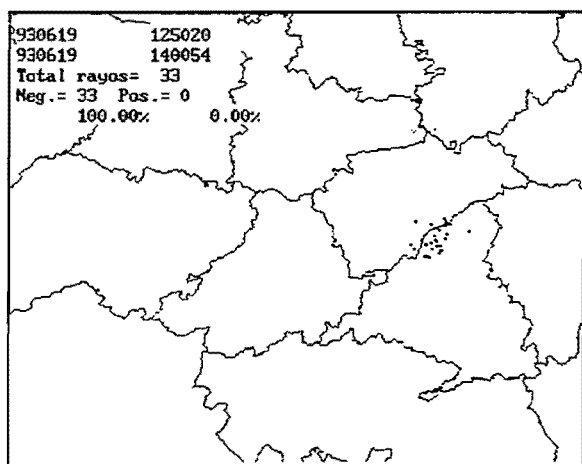


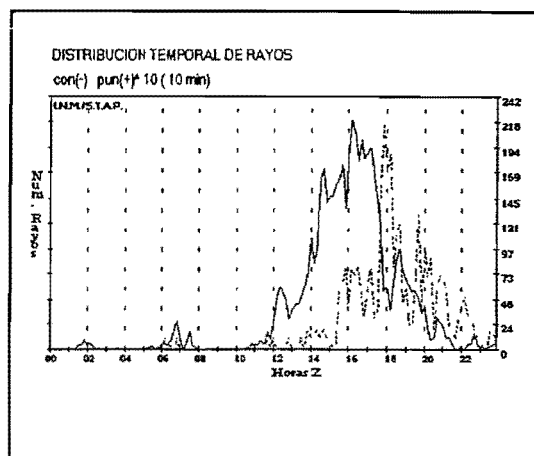
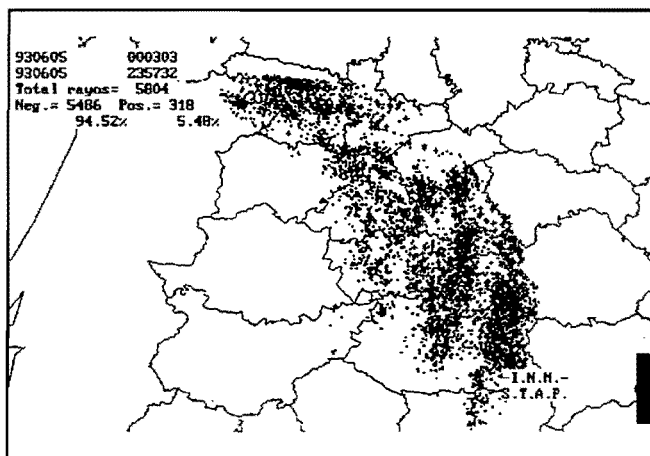


#### 4.b. Cuasiestacionaria.

En contraste con el caso anterior, el día 19 de Junio se produjo una tormenta que permaneció prácticamente inmóvil sobre la sierra de Madrid a lo largo de todo su ciclo de vida. Ese día las tormentas fueron de masa de aire.

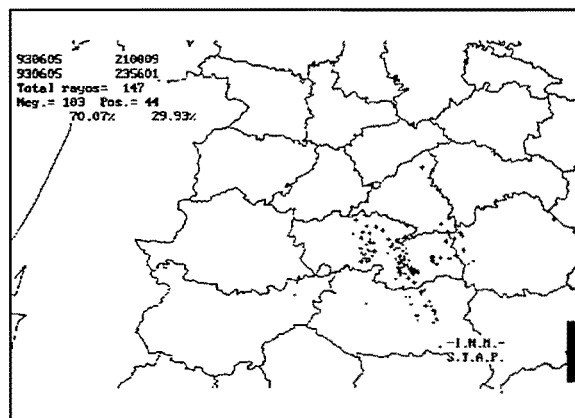
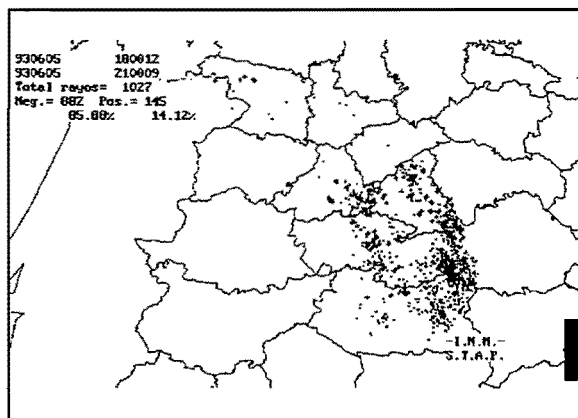
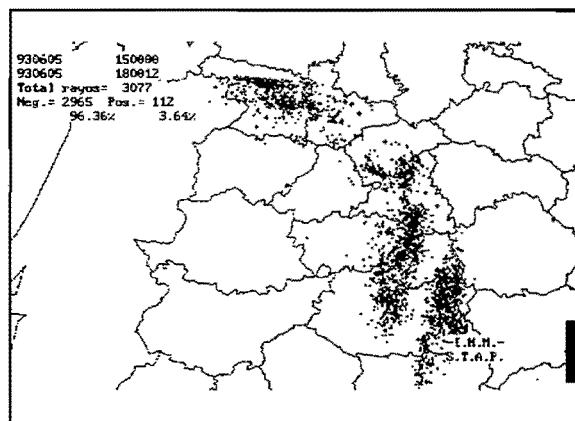
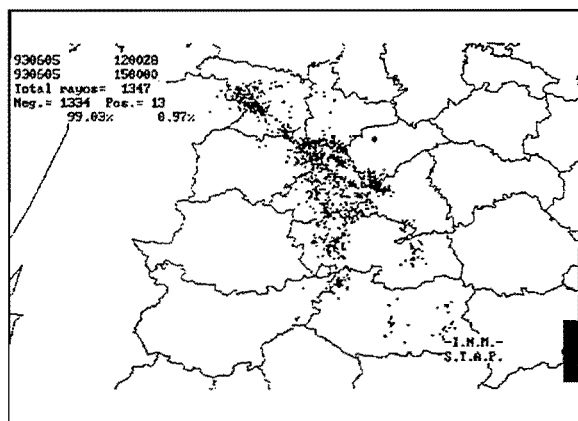
En las dos figuras superiores se muestran la señal total dejada por la tormenta y la distribución temporal de rayos cada 10 minutos, ambas cosas una vez aislado el fenómeno. En las inferiores pueden verse los registros dejados hasta las 14z, de 14z a 15z y de 15z en adelante.





#### 4.c. En línea.

El 5 de junio fue un día con un forzamiento sinóptico importante, teniendo lugar fenómenos tormentosos en toda la zona centro que se organizaron formando una línea que abarcaba ambas mesetas. En las figuras superiores se ven la señal dejada durante todo el día y la distribución temporal de los rayos cada 10 minutos (con los positivos multiplicados por un factor 10), ambas cosas una vez aislado el arco tormentoso. En las inferiores están los registros acumulados cada tres horas. Puede apreciarse con claridad tanto la estructura en arco como el avance hacia el este y la posterior ruptura de la línea. obsérvese como el porcentaje de rayos positivos aumenta con el transcurso del día. Por delante de la línea se forman algunas tormentas, visibles preferentemente en el este de Toledo y Ciudad Real.

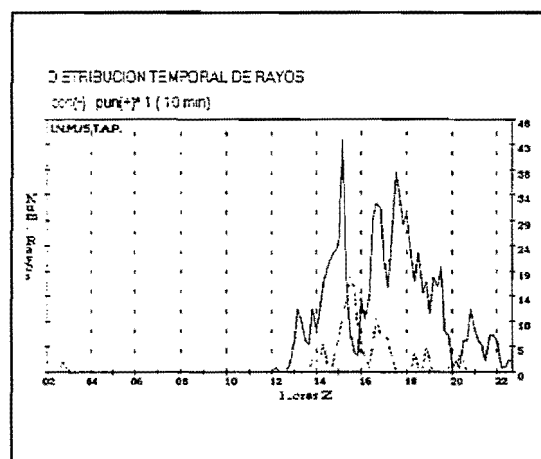
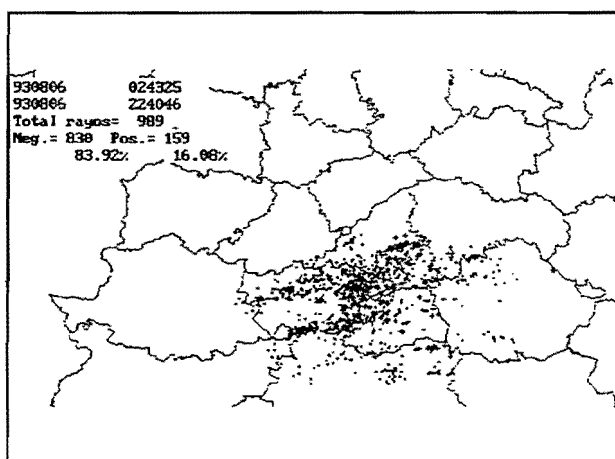


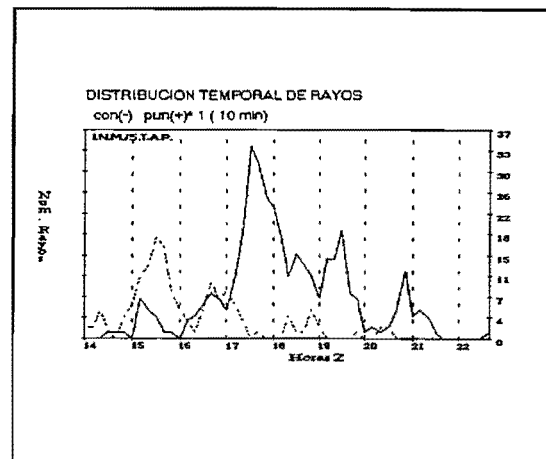
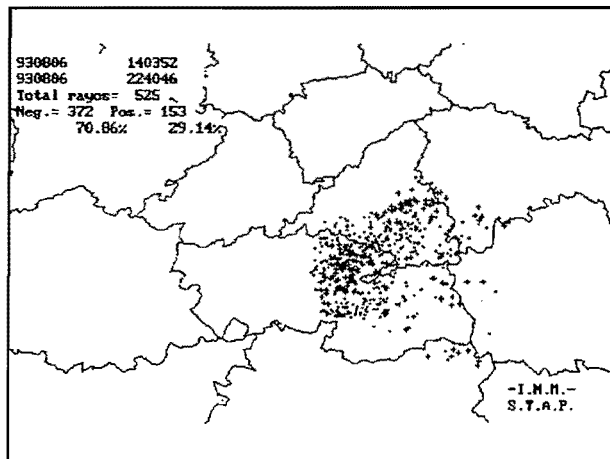
#### 4.d. Tormenta con anomalía de positivos.

El día 6 de Agosto se produjo una tormenta en la que se alteró la secuencia habitual en cuanto a la polaridad de las descargas. Si lo usual es que se produzcan casi exclusivamente descargas negativas durante las fases de formación y desarrollo de las tormentas, registrándose las descargas positivas en las fases de madurez y disipación y en un porcentaje en torno al 5%, en este caso se produjeron un gran número de descargas positivas. Una vez aislado el fenómeno tormentoso se registra un porcentaje de descargas positivas superior al de negativas en la fase inicial.

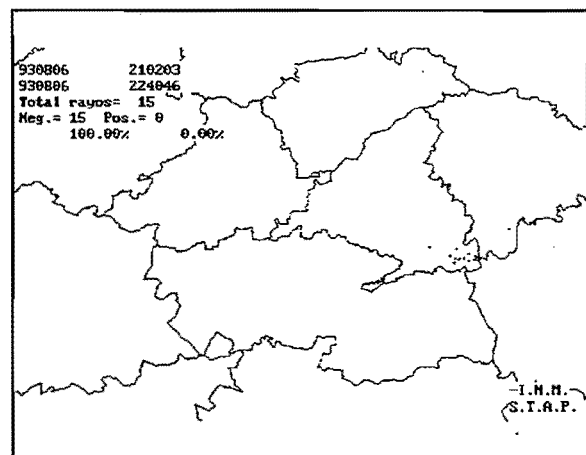
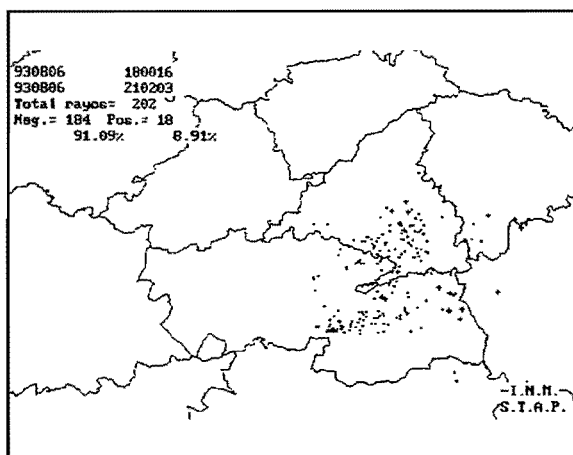
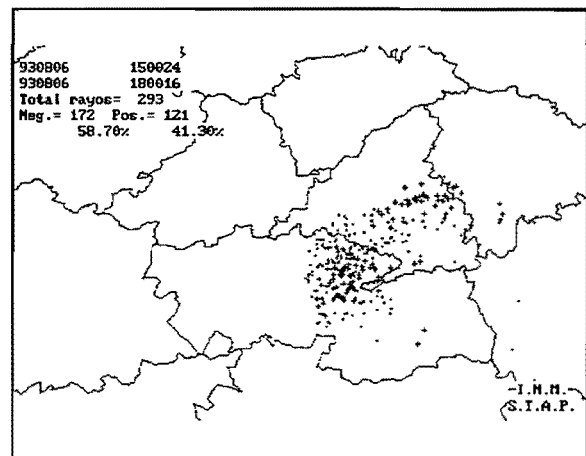
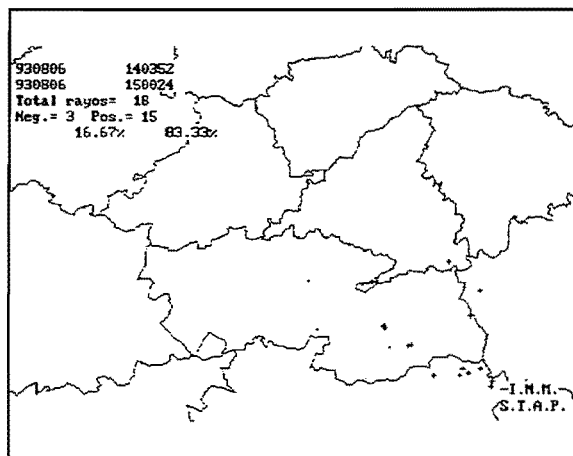
Las figuras inferiores muestran el registro completo y la distribución temporal de los rayos a lo largo de todo el día, sin aislar el fenómeno.

Las de la página opuesta corresponden a la tormenta en cuestión una vez aislada, que como tal comenzó entre las 14 y las 15. (Ha sido la evolución temporal la que ha permitido discriminar entre los diferentes fenómenos que se dieron). Las dos ilustraciones superiores presentan el registro completo y la distribución temporal de los rayos una vez separada la tormenta que nos ocupa. En las cuatro inferiores se pueden ver los registros acumulados en los distintos períodos sinópticos de observación. El porcentaje de descargas positivas entre las 14z y las 15z (que como puede verse en la gráfica de la distribución temporal de rayos es muy superior al de negativos) es anecdótico, el significativo es el alcanzado entre las 15z y las 18z que supera el 40%. Obsérvese también que al contrario de como suele suceder, en los estados finales de la evolución de la tormenta son las descargas negativas las que predominan.





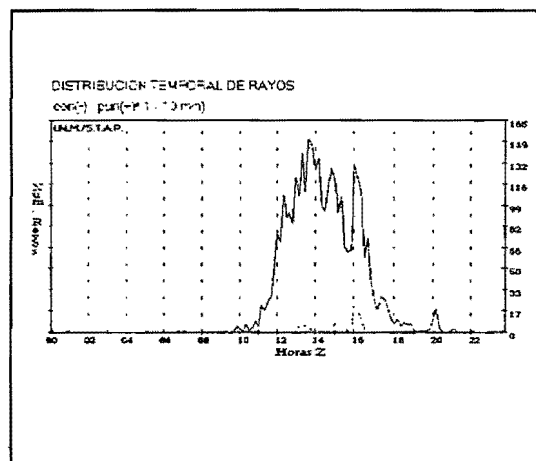
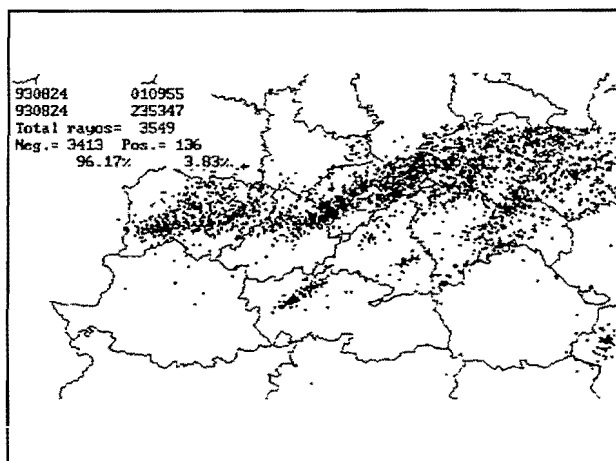
## TORMENTA CON ANOMALÍA DE POSITIVOS

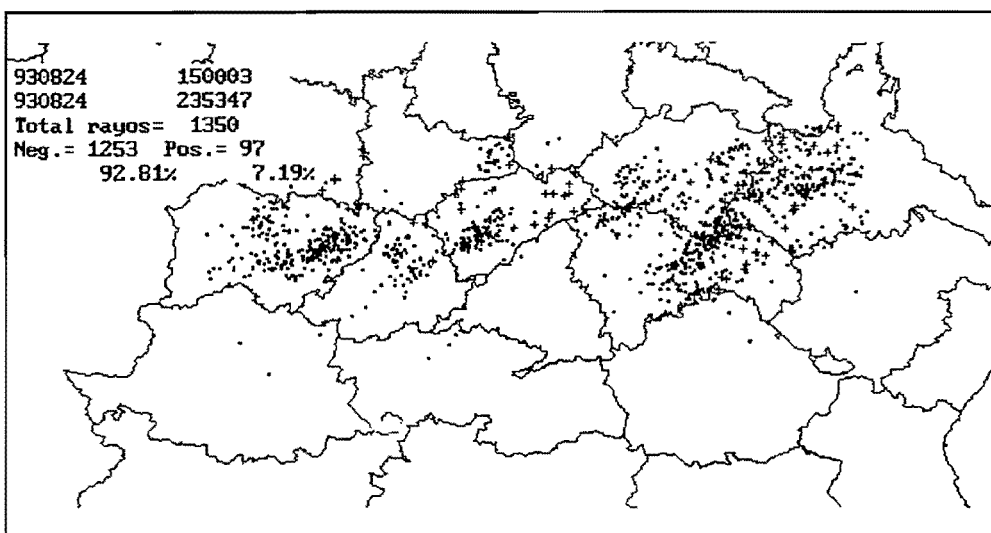
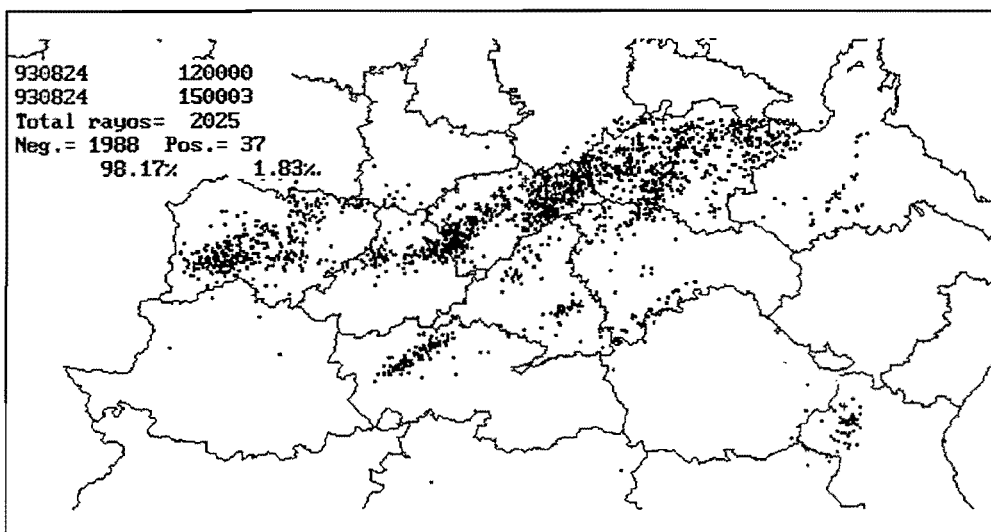
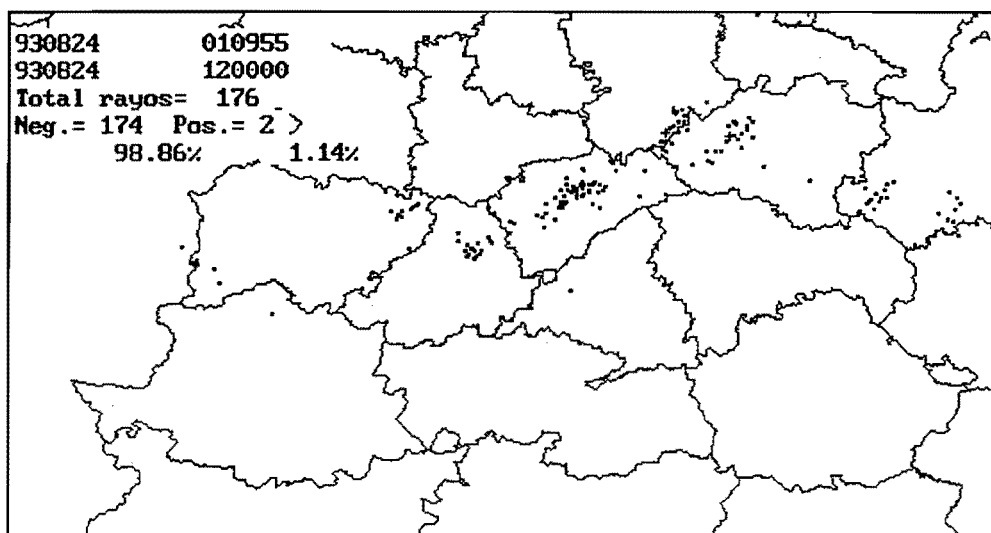


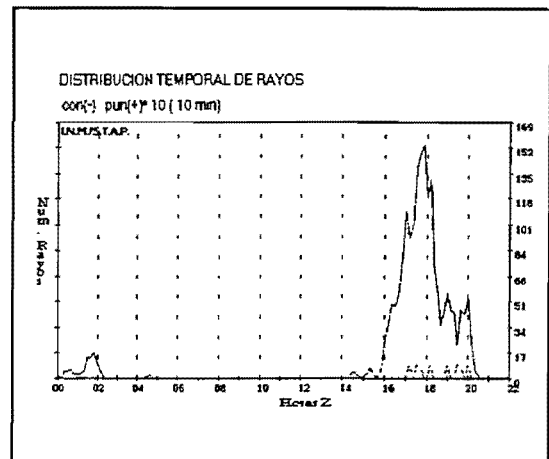
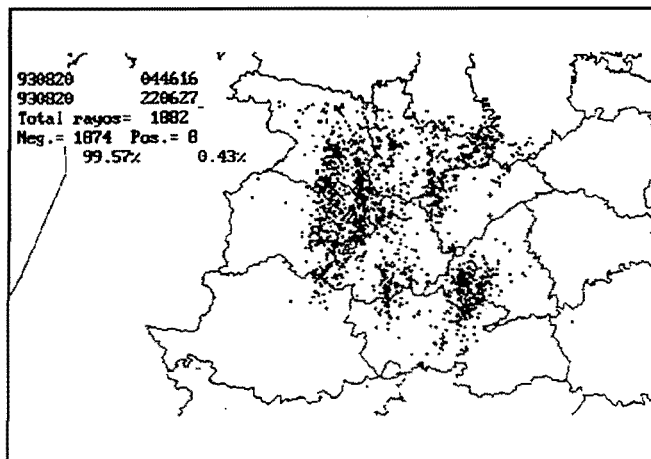
#### 4.e.Tormentas de Masa de Aire y origen orográfico.

La situación corresponde al día 24 de Agosto. Las tormentas que se produjeron fueron del tipo de masa de aire (MA). El flujo en niveles medios de la atmósfera fue del SW. En las figuras inferiores se puede ver el registro de rayos correspondiente al día completo así como la distribución temporal de los rayos.

En las tres figuras de la página opuesta se muestran respectivamente las señales acumuladas en sucesivas etapas. La primera corresponde al periodo de 06z a 12z (no hubo apenas rayos antes) y en ella se puede apreciar ya claramente el efecto de la orografía, ya que comienzan todas las tormentas en la cara norte del Sistema Central, incluida la vertiente norte de la Sierra de Gata, siguiendo uno de los ejes de máxima actividad. Los brotes en el Sistema Ibérico son en este primer periodo más débiles. La segunda figura corresponde a las horas centrales del día, de 12z a 15z, que son las de mayor actividad. Se pueden ver en ella dos brotes a lo largo del río Alberche, hasta su llegada a Talavera de la Reina y en el corredor del Henares en Alcalá, siendo ambas zonas no montañosas. Se mantiene sin embargo la zona de la Ibérica con muy escasa actividad. En la figura inferior se muestra el registro correspondiente a las últimas horas, de 15z en adelante. Es en este último periodo cuando la actividad tormentosa afecta finalmente al Sistema Ibérico, decayendo en toda la zona centro con el final del ciclo diurno.

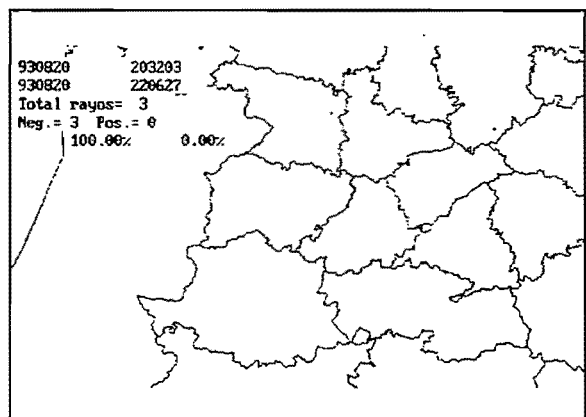
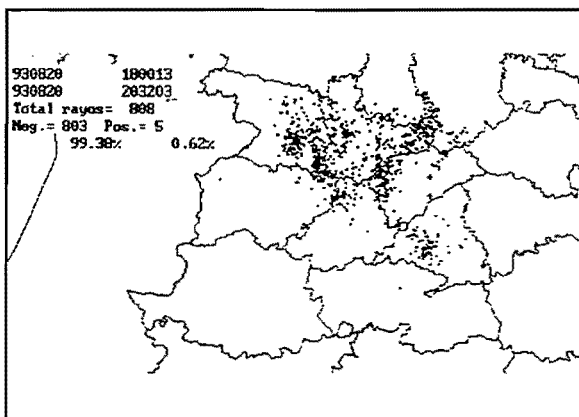
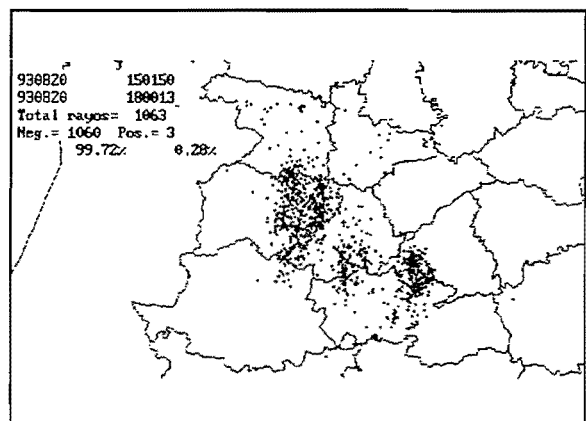
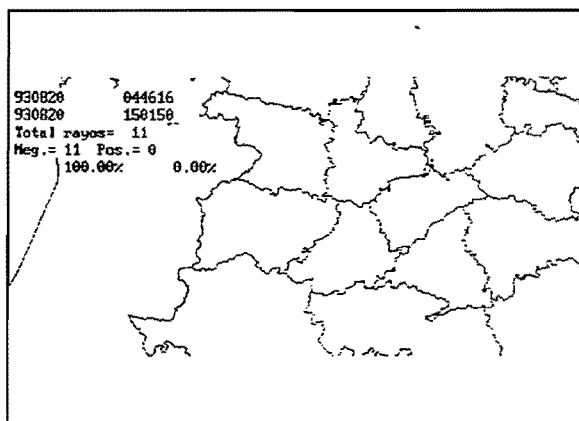






#### 4.f. Tormentas en flujo del SE.

La situación corresponde al día 20 de Agosto. El flujo en niveles medios era del SE débil (15kt), girando hacia el S en altura. En las figuras superiores se presentan la traza y la distribución temporal de rayos para el día completo. En las cuatro ilustraciones restantes se muestran las señales dejadas en los periodos trihorarios de observación sinóptica. En el segundo y el tercero de éstos se pueden ver tres tormentas que surgen en el Sistema Central (las dos occidentales) y Toledo (la más oriental) y que van evolucionando con un ciclo de vida similar a la vez que se desplazan paralelamente hacia el Norte.





## 5. CONCLUSIONES FINALES.

Durante el verano de 1993 se llevó a cabo la caracterización de la actividad convectiva en la Zona Centro, y en particular de su actividad tormentosa, utilizando para ello, y por primera vez, los datos de la Red de detección de Rayos del INM.

En este trabajo ( Partes I, II y III) se han puesto de manifiesto que :

- La actividad tormentosa, en esta región y en la época estival, esta caracterizada por la distribución espacial y temporal de los rayos **negativos**, mucho más numerosos que los positivos, menos en muy determinadas ocasiones.
- La **gran variabilidad diaria** en la generación de rayos, que puede condicionar fuertemente la distribución espacial (caso del 18 de Junio de 1993, día de gran actividad eléctrica).
- La importancia del **ciclo diurno** en la distribución temporal en la generación de los rayos, tanto si existe o no forzamiento sinóptico en niveles medio-altos.
- El papel de los **accidentes topográficos** en la formación y desarrollo de las tormentas, en especial **los grandes sistemas montañosos**: el Central y el Ibérico; este último con dos zona bien diferenciadas (el eje de las tierras altas de Zaragoza-Teruel y Valencia y un segundo que arranca desde Guadalajara-Cuenca y algunas zonas de Albacete). Destacar las zonas de máximos en la provincia de Soria y Salamanca.
- Los **mínimos** se alcanzan en las **zonas más altas de Gredos** y en las bajas tierras extremeñas.
- Las singularidades que se encuentran en las zonas de grandes reservas de agua (ríos,embalses,lagunas,etc) en cuanto al número de días con tormentas pero que son, en general, menos eficientes que las grandes alineaciones de montañas.
- La mayor uniformidad de días con tormentas en la Meseta Norte que en la Zona Sur.
- El diferente comportamiento (desarrollo, evolución, etc) de las tormentas frente a situaciones atmosféricas determinadas:

\*Flujo del SW en 700 mbs. Alrededor del medio día, se dispara primero la vertiente norte de Sistema Central en las provincias de Segovia , Soria y NE de Avila, así como algunos puntos del Sistema Ibérico en el eje Zaragoza-Teruel. Posteriormente las tormentas se extienden por el Ibérico y comienzan a aparecer por las tierras llanas preferentemente en la Meseta Norte donde se dan los máximos, en su zona central y NE de la ventana de estudio.

\*Flujo del SE en 700 mbs. En este caso son las tierras llanas de la Meseta Norte las que se disparan primero y se extienden posteriormente por casi toda la región. El efecto orográfico es menos marcado . Sus desplazamientos medios fueron de S a N.

\*Tormentas de Masa de Aire. Sus comportamientos son muy parecidos a las del Flujo de SW siendo el papel orográfico muy importante en cuanto a su generación. Suele estar muy bien definido el S. Central (Segovia, Soria y parte de Avila, por una parte, y por otra la zona de Salamanca) y el Ibérico en las tierras del Moncayo. En general las zonas llanas se disparan después. Sus menores desplazamientos hacen que afecten a menos zonas que las de flujo del SW.

\*Tormentas con Forzamiento Sinóptico. El aspecto orográfico ya no es tan

importante, pueden surgir en cualquier lugar y momento del día. Su traslación coincide con el flujo medio, que suele ser del SW.

Estas conclusiones no dejan de **ser parciales** y deberán de ser analizadas en años venideros. No sabemos, en la actualidad, si el año 1993 fue un año "típico" en cuanto a la generación de tormentas en el período estival o por contra fue un año de poca o mucha actividad. Posiblemente una de las características enumeradas con anterioridad, la gran variabilidad diaria, se pueda trasladar también de un año a otro y debemos de estudiar una muestra más amplia. Quedan muchas preguntas por responder y que abordar, como fueron puestas de manifiesto en la introducción, pero los resultados obtenidos nos abren una puerta esperanzadora a la comprensión de los fenómenos tormentosos en toda la península.

## BIBLIOGRAFIA

Font Tullot I, 1983. *Climatología de España y Portugal*. I.N.M.

López R.E. y Holle R.L.,1986. *Diurnal and Spatial Variability of Lightning Activity in Northeastern Colorado and Central Florida during the Summer*. Monthly Weather Review, 114,1288-1312.

Martín León F., Carretero Porris O., 1991. *Principios Generales de Electricidad Atmosférica: Descargas Eléctricas*. Nota Técnica N° 2 del S.T.A.P. Publicación interna del INM, 1991.

Martín León F., Estebán Jódar L., Riosalido Alonso R., 1994. *Caracterización de la Convección Estival en la Zona Centro. Campaña 1992*. Nota Técnica N° 13 del STAP. Publicación interna del INM, 1994.

Servicio de Teledetección , ST., 1992. *Red de Detección de Rayos del INM*. La Meteorología en el Mundo Iberoamericano. Servicio de Teledetección del INM. Año II Oct-Dic 1992. N° 10, pp 23-27.

